
BACHELORARBEIT

Herr/Frau

Tristan Marvin Jan Hurlbrink

Lichtfeldkameras, eine revolutionäre Kameratechnik im Bereich Film und Fernsehen?

**Die Analyse einer neuen Kameratechnik und ihre
produktionellen Auswirkungen am Fallbeispiel des
Kameraassistenten / der Kameraassistentin.**

2015

BACHELORARBEIT

Lichtfeldkameras, eine revolutionäre Kameratechnik im Bereich Film und Fernsehen?

**Die Analyse einer neuen Kameratechnik und ihre
produktionellen Auswirkungen am Fallbeispiel des
Kameraassistenten / der Kameraassistentin.**

Autor:
Herr Tristan Marvin Jan Hurlbrink

Studiengang:
Film und Fernsehen

Seminargruppe:
FF11wK1-B

Erstprüfer:
Prof. Peter Gottschalk

Zweitprüfer:
Rika Fleck (M.Sc.)

Einreichung:
Hamburg, 26.06.2015

BACHELOR THESIS

Are lightfield cameras a revolutionary camera technology in the production of film and television?

**The analysis of a new camera technology and its
effects on the position of the camera assistant.**

author:
Mr. Tristan Marvin Jan Hurlbrink

course of studies:
Film and Television

seminar group:
FF11wK1-B

first examiner:
Prof. Peter Gottschalk

second examiner:
Rika Fleck (M.Sc.)

submission:
Hamburg, 26.06.2015

Bibliografische Angaben:

Hurlbrink, Tristan Marvin Jan:

Lichtfeldkameras, eine revolutionäreameratechnik im Bereich Film und Fernsehen?

Die Analyse einer neuenameratechnik und ihre produktionellen Auswirkungen am Fallbeispiel des Kameraassistenten / der Kameraassistentin.

Are lightfield cameras a revolutionary camera technology in the production of film and television?

The analysis of a new camera technology and its effects on the position of the camera assistant.

2015 - 63 Seiten

Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), University of Applied Sciences,
Fakultät Medien, Bachelorarbeit, 2015

Abstract

Diese Arbeit präsentiert sukzessiv den Aufbau und den theoretischen Einsatz einer Lichtfeldkamera im Bereich Film und Fernsehen. Hierfür werden empirische Studien der Plenoptik und notwendige Informationen von verschiedenen Forschern zusammengefasst und eine allgemeine Einführung in die Gesamtheit der Thematik formuliert. Weiterer Bestandteil dieser Arbeit ist eine Analyse, welche Auswirkungen dieseameratechnik auf die produktionelle Arbeit am Set und im Speziellen die Aufgabenbereiche des Kameraassistenten hat. Mit diesem Ziel, werden die gewonnenen theoretischen Kenntnisse über Lichtfeldameratechnik auf den praktischen Einsatz am Set angewendet. Ein simulierter Einsatz der Lichtfeldkamera soll mögliche Vor- und Nachteile dieserameratechnik herausstellen. Diese Simulation stellt die, durch die technischen Parameter der Lichtfeldkamera entstehenden, Anforderungen an die Produktion und den verantwortlichen Technikern heraus. Ziel ist die Definition der Handhabung dieserameratechnik und die Frage: Hat die Technik der Lichtfeldkamera eine relevante Funktion in der zukünftigen Produktion von Film und Fernsehinhalten?

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	IV
Abkürzungsverzeichnis.....	VI
Formelverzeichnis.....	VII
Abbildungsverzeichnis.....	VIII
1 Einleitung.....	1
1.1 Hinführung zum Thema.....	1
1.2 Fragestellung und thematische Eingrenzung.....	2
1.3 Herangehensweise.....	2
2 Grundlagen der Plenoptik.....	3
2.1 Die Plenoptische Funktion.....	3
2.2 Das 4D Lichtfeld.....	5
3 Digitale Lichtfeldkamera.....	8
3.1 Verlauf des Lichtfeldes innerhalb der Lichtfeldkamera.....	8
3.2 Mikrolinsen Array.....	12
3.3 Konstruktion einer plenoptischen Kamera.....	16
4 Digitale Signalverarbeitung von Lichtfeldaufnahmen.....	21
4.1 Lichtfeld Rendering	21
4.2 Signalverarbeitung und Datenkapazität.....	23
4.3 Digitale Refokussierung der Lichtfeldaufnahmen.....	25
4.4 Synthetische Kamera	27
4.5 Erweiterung der Tiefenschärfe	28
5 Produktionelle Veränderungen.....	33
5.1 Aufgaben des Kameraassistenten.....	33
5.1.1 Aufgaben des 1 st AC in der Vorbereitung.....	34
5.1.2 Aufgaben des 1 st AC während der Dreharbeiten.....	37
5.1.3 Aufgaben des 1 st AC nach den Dreharbeiten.....	39

6 Veränderungen durch den Einsatz der plenoptischen Kamera	40
6.1 Veränderung der Aufgabenbereiche des 1 st AC	40
6.2 Veränderung der Produktion	43
6.2 Einordnung und Bewertung der ausgeführten Überprüfung	44
7 Fazit.....	45
7.1 Relevanz der plenoptischen Kameratechnik.....	45
7.2 Ausblick.....	47
Literaturverzeichnis.....	X
Anlagen.....	XII
Eigenständigkeitserklärung.....	XV

Abkürzungsverzeichnis

MLA

Mikrolinsen Array

MFPC

Multi focus plenoptic camera

ZIM

Multi focus plenoptic camera

MIC

microlens image center

fps

frames per second

GB

gigabyte

PL Mount

positive lock

BVK

Berufsverband Kinematografie

1st AC

first camera assistant / 1. Kameraassistent

DoP

Director of Photography / Licht setzender Kameramann

DIT

Digital Image Technician

ARRI

Arnold & Richter Cine Technik GmbH & Co. Betriebs KG

ISO

Bezeichnung für die elektronische Filmempfindlichkeit

Abbildungsverzeichnis

[AB01]: Diagramm aus Leonardo Da Vincis Notizen.....	4
[AB02]: Formel der Plenoptischen Funktion.....	4
[AB03]: Schematische Darstellung der plenoptischen Funktion.....	4
[AB04]: <i>4D-Lichtfeld Parametrisierung</i>	6
[AB05]: 4D-Lichtfeld Parametrisierung im kartesischen Koordinatensystem.....	6
[AB06]: Visualisierung der Lichtfeldebene.....	7
[AB07]: Parametrisierung des Lichtfeldes nach Ng.....	9
[AB08]: Ray-Space-Diagramm.....	9
[AB09]: Ray-Space-Diagramm: Lichtstrahlen eines Objektpunktes.....	10
[AB10]: Ray-Space-Diagramm einer Lichtfeldkamera.....	11
[AB11]: Thorlabs Mikrolinsen Array.....	12
[AB12]: Schematische Darstellung eines MLAs in einer MFPC.....	13
[AB13]: Detailaufnahme, Miniaturbild einer Mikrolinse.....	15
[AB14]: Schematischer Aufbau einer plenoptischen Kamera.....	17
[AB15]: Schematischer Aufbau des Lichtfeldsensors von Lytro.....	18
[AB16]: Implementierung einer Relais Linse.....	19
[AB17]: ARRI Prototyp: Plenoptischer Tubus	19
[AB18]: Lichtfeld Rendering.....	22
[AB19]: Single Viewpoint Extraction.....	23
[AB20]: Raw images der Mikrolinsen.....	24
[AB21]: <i>Softwareinterface von der Firma Raytrix GmbH</i>	25
[AB22]: Beispiele für refokussierte Bilder.....	26

[AB23]: Zweidimensionales Schema der <i>Synthetic Photography</i>	27
[AB24]: Virtuelle Schärfenebene.....	28
[AB25]: Darstellung von Apertur und Zerstreuungskreis.....	29
[AB26]: Effektiver Tiefenschärfe-Bereiche der plenoptischen Kamera.....	30
[AB27]: Schematische Anordnung der Mikrolinsen einer MFPC.....	31
[AB28]: ARRI ALEXA mit plenoptischen Tubus.....	35
[AB29]: Verwandtes Anwendungsbeispiel: <i>Virtual camera motion tracking</i>	41

1 Einleitung

1.1 Hinführung zum Thema

Durch modernste Kamera- und Computertechnik besteht die Möglichkeit immer mehr gestalterische Elemente digital zu erstellen. Die Herstellung von Bildinhalten in der Postproduktion wird immer häufiger. Neueste Entwicklungen in derameratechnik, wie hochauflösende 8K Sensoren und leistungsfähigere Prozessoren, ermöglichen nun die praxisorientierte Anwendung der Lichtfeldaufnahme im Bereich der Bewegtbild Produktion. Die Lichtfeldkamera ermöglicht Abtastung und die anschließende Signalverarbeitung des hochfrequenten Lichtfeldes. Somit soll dem Anwender ermöglicht werden, die Schärfenebene und die Perspektive, der bereits digitalisierten Aufnahme nachträglich zu manipulieren.

Die grundlegende Idee für die Theorie des Lichtfeldes wurde 1903 von Frederick E. Ives formuliert. Er entwickelte einen Kameraaufbau, in dem ein Raster aus Lochblenden in die Bildebene der Sammellinse integriert wurde. Er entdeckte mit diesem Aufbau eine Möglichkeit der Stereoskopie. Der französische Nobelpreisträger für Farbphotographie Gabriel M. Lippmann entwickelte 1908 mit seiner Arbeit *Épreuves réversibles. Photographies inntégrales* ein Konzept für eine Kamerakonstruktion, die einen Verbund aus Mikrolinsen implementierte. Edward H. Adelson und James R. Bergen formulierten 1991 in einem Artikel der MIT Press den Begriff *plenoptic function*. In diesem Artikel beschrieben sie die Intensitätsverteilung des Lichtfeldes in sieben verschiedenen Dimensionen. Diese erste Formulierung der Plenoptischen Funktion wurde 1996 von den Amerikanern Marc Levoy und Pat Hanrahan weiterentwickelt.

Die Weiterentwicklung der Lichtfeldphotographie wurde durch den enormen Fortschritt in der digitalen Kamera- und Computertechnik wieder populärer. Die Möglichkeit des schnellen Processing von Daten ermöglicht eine praxisorientierte Anwendung im Bereich Film und Fotografie. Jedoch findet diese Technik ihre Limitation in der Schnelligkeit der Signalverarbeitung und der Datenkapazität der Aufnahmemedien, welche durch den Fortschritt der digitalen Datenverarbeitung kontinuierlich neu definiert wird.

1.2 Fragestellung und thematische Eingrenzung

Die beschriebenen Anwendungsmöglichkeiten dieserameratechnik führen zu der Frage, wie der mögliche Einsatz dieserameratechnik aussieht. Welche Vorteile hat eine Produktion von dem Einsatz dieserameratechnik und wie verändern sich die Aufgabenbereiche des Kameraassistenten? Der Kameraassistent ist während der Dreharbeiten für die einwandfreie Funktion der gesamtenameratechnik verantwortlich. Außerdem ist er für die technisch korrekte Aufnahme des Bildes zuständig. Das Ziel dieser Arbeit ist es herauszuarbeiten, welche Stellung die Lichtfeldameratechnik in der Zukunft haben wird und inwiefern sich die Kompetenz des 1. Kameraassistenten verändert. Fragen, die diese Arbeit außerdem untersucht, sind: Gibt es Grenzen in dem Einsatz der Lichtfeldkamera? Wird die Position des Kameraassistenten bei dem Einsatz einer Lichtfeldkamera, weiterhin benötigt? Gibt es Nachteile, die aus dem Einsatz der Lichtfeldkamera resultieren?

Bei der Ergründung dieser Thematik ist eine grundlegende Einführung der theoretischen Grundlagen zwingend erforderlich. Dementsprechend wird die Funktion der Lichtfeldkamera ergründet und zusammengefasst beschrieben. Außerdem werden die möglichen Gestaltungsmöglichkeiten dieserameratechnik aufgezeigt, um dem Leser eine Vorstellung der möglichen Relevanz der Lichtfeldkamera zu vermitteln. Bei der Darstellung der theoretischen Grundlagen geht es jedoch darum, dem Leser das Grundprinzip dieser Technik zu vermitteln. Nicht aber darum, den fortlaufenden Signalverarbeitungsprozess der Lichtfeldabtastung bis ins kleinste Detail zu beschreiben. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf den praktischen Auswirkungen, die die plenoptischenameratechnik auf die Produktionsweise von Spiel- und Fernsehfilmen haben kann.

1.3 Herangehensweise

Es ist die technische Veränderung und Spezifikation von Komponenten derameratechnik, die eine mögliche Anpassung der Produktionsweise erfordern. Dementsprechend beginnt diese Arbeit damit, dem Leser ein grundsätzliches Verständnis für die Technik der Lichtfeldkamera, auch plenoptische Kamera genannt, zu vermitteln. Die theoretischen Grundlagen der Plenoptik sind der Ausgangspunkt für die allgemeine Darstellung dieserameratechnik.

Zuerst wird der Begriff der Plenoptik beschrieben und die grundlegende Definition des Lichtfeldes erläutert. Die Erläuterung der Definition ermöglicht es, die grundsätzlichen

Funktion der Lichtfeldkamera nachzuvollziehen. Darauf aufbauend wird der grundsätzliche Aufbau der Lichtfeldkamera beschrieben und die notwendigen Bauelemente gesondert behandelt. Nachdem die Eigenschaften der benötigten Bauteile herausgearbeitet wurden und der physische Aufbau der Lichtfeldkamera bekannt ist, wird der Strahlengang der Lichtstrahlen innerhalb der Lichtfeldkamera dargelegt. Dies bildet die Grundlage für die anschließende Beschreibung der Digitalisierung und Signalverarbeitung des Lichtfeldes, zu einem für den Menschen wahrnehmbares Videobild. Welche Signalprozesse innerhalb der Lichtfeldkamera ablaufen und welche Parameter die leistungsfähigen Eigenschaften der Lichtfeldkameras ermöglichen, schließt die Erläuterung der theoretischen Grundlagen ab.

Im weiteren Verlauf der Arbeit werden die Einsatzmöglichkeiten der Lichtfeldkamera dargestellt. Da die Möglichkeit der nachträglichen Refokussierung eine der prägnantesten Eigenschaften der Lichtfeldkamera ist, wird die Funktionsweise dieses Prozesses gesondert behandelt. Abschließend wird der Einsatz einer Lichtfeldkamera an einem Filmset simuliert. Ziel ist es, eine mögliche Aussage darüber zu treffen, welche Funktion bzw. Relevanz die Lichtfeld Kameratechnik in Zukunft haben wird und inwiefern sich der Einsatz der Lichtfeldkamera auf das Berufsbild des Kameraassistenten auswirken wird.

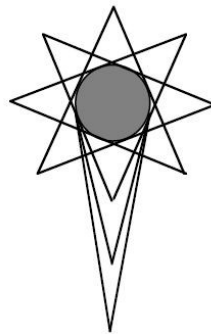
2 Grundlagen der Plenoptik

Die grundlegende Erläuterung der Definition der Plenoptik, ermöglicht es, den grundsätzlichen Aufbau und Funktion der Lichtfeldkamera nachzuvollziehen. Das Wort „Plenoptik“ fügt sich, übersetzt aus den lateinischen Wort *plenus* für *komplett, vollständig* und den physikalisch betrachteten Begriff *optic*, zusammen. Das Bestreben der Plenoptik ist es, die Eigenschaften und Informationen des Lichtes im dreidimensionalen Raum zu erfassen und durch Abtastung des Lichtfeldes zu rekonstruieren. Das folgende Kapitel beschreibt die Herleitung und den Ursprung der plenoptischen Kameratechnik.

2.1 Die Plenoptische Funktion

1991 formulierten Edward H. Andelson und James R. Bergen erstmals den Begriff *plenoptic function* in ihrem Fachartikel *The Plenoptic Function and the Elements of Early Vision*. In diesem Artikel erläutern sie, dass von jedem Punkt Lichtwellen in unendlicher Variation im freien Raum ausgehen und diese sich innerhalb einer unendlichen Anzahl unterschiedlich ausgerichteter Pyramidenkörpern befinden.¹ Sie beziehen sich bei dieser Formulierung auf einen Text von Leonardo Da Vinci.

„*The body of the air is full of an infinite number of radiant pyramids caused by the objects located in it. These pyramids intersect and interweave without interfering with each other during the independent passage throughout the air in which they are infused.*“²



[AB01] : Diagramm aus Leonardo Da Vincis Notizen. Da Vincis Interpretation ist die Fortbewegung der Lichtstrahlen in einer „pyramidenartigen“ Struktur.

Die plenoptische Funktion von Andelson und Bergen beschreibt mathematisch mit sieben Parametern die Fortbewegung von Lichtwellen im dreidimensionalen Raum.

$$P = P (\theta , \phi , \lambda , t, V_x, V_y, V_z)$$

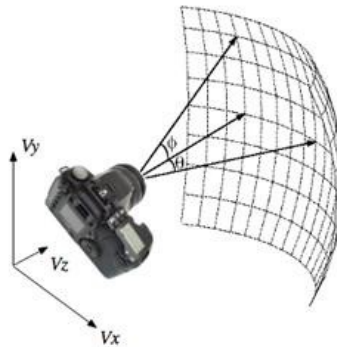
[AB02]: Formel der Plenoptischen Funktion

Das Lichtfeld wird durch die Eintrittskordinaten auf der entsprechenden Retina (das Auge des Menschen, dem Sensor der Kamera) V_x , V_y und V_z in Verbindung mit den

¹ vgl. Andelson und Bergen, 1991: 4

² Kemp, 2001: 50

Richtungswinkeln θ und ϕ , der Wellenlänge λ und einem bestimmten Zeitpunkt t beschrieben.³ Die folgende Abbildung [AB03] veranschaulicht diese Zuordnung.



[AB03]: Schematische Darstellung der plenoptischen Funktion

Jedoch weisen Andelson und Bergen darauf hin, dass die plenoptische Funktion ein idealisiertes Konzept ist. Sie beschreibt die Information, die einem Beobachter potenziell, unabhängig von Zeit und Raum, zugänglich ist. Die lückenlose Anwendung der plenoptischen Funktion ist dementsprechend ungeeignet. Ein Lösungsansatz ist, dass sich der Aussage der plenoptischen Funktion angenähert wird, indem ein Objekt von ausreichend vielen Blickpunkten aus betrachtet wird. Bezogen auf die Praxis bedeutet das, wenn eine fotografische Aufnahme zum gleichen Zeitpunkt über mehrere Blickpunkte mit unterschiedlichen Eintrittskoordinaten verfügt, kann eine Aussage über die räumliche Anordnung von Objekten zueinander getroffen werden.⁴ Die Aufnahme der einzelnen Blickpunkte ist eine Abtastung des Lichtfeldes. Durch die weitere Signalverarbeitung werden diese Blickpunkte zu einem Bild gerechnet und zusammengefügt.

Vereinfachung schafft die Vernachlässigung der Zeitdimension t und der Wellenlänge λ . Deshalb wird die plenoptische Funktion in Fachliteratur häufig als fünfdimensional bezeichnet.

³ vgl. Andelson und Bergen, 1991: 5

⁴ vgl. Hahne, 2012: 5

2.2 Das 4D-Lichtfeld

Die Arbeit von Marc Levoy und Pat Hanrahan erweitert die in Kapitel 2.1 *Die Plenoptische Funktion* eingeführte plenoptische Funktion in ihrer Anwendbarkeit. In ihrem Fachartikel *Light Field Rendering* beschreiben sie die plenoptische Funktion mit nur vier Parametern. Die Einführung des 4D-Lichtfeldes ist ein großer Fortschritt im Wissenschaftsfeld der Plenoptik.

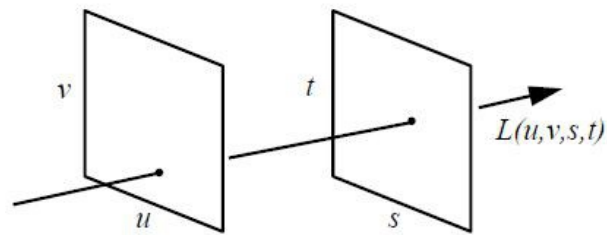
Das 4D-Lichtfeld reduziert die plenoptischen Funktion um die Dimension der Wellenlänge. In ihrem Artikel formulieren Levoy und Hanrahan die Annahme, dass sich die Wellenlänge eines Lichtstrahls, solange er im freien Raum verläuft, an keinem Punkt verändert. Diese Aussage impliziert die Folgerung, dass die Intensität eines Lichtstrahls an jedem Punkt identisch ist. Der gemessene Luminanzwert des Lichtbündels von dem Beobachtungspunkt des Rezipienten, bis zum Ausgangspunkt des Objekts, beschreibt in jedem Punkt dieselbe Helligkeit.⁵ Durch diese Annahme wird die gesammelte Datenmenge des Lichtfeldes stark reduziert und die in der plenoptischen Funktion enthaltene Redundanz entfernt. Die produzierte Datenmenge einer Lichtfeldaufnahme ist dennoch sehr hoch. In Kapitel 4.2 *Signalverarbeitung und Datenkapazität*, wird auf diese Thematik genauer eingegangen.

Des Weiteren beschäftigen sich Levoy und Hanrahan in ihrem Artikel damit, wie die einzelnen Strahlen des Lichtfeldes parametrisiert werden können. Dies ist wichtig, um einen effizienten Signalverarbeitungsprozess zu generieren, der durch einfache Rechenleistung neue Perspektiven und Fokusebenen errechnen kann. Außerdem ist es wichtig, die einzelnen Lichtstrahlen, ausgehend von einem Objekt, kontrollieren zu können. Zuletzt ist es nötig, bei der Parametrisierung des Lichtfeldes darauf zu achten, dass die Lichtstrahlen im generierten Parameterraum alle gleichwertig interpretiert und verarbeitet werden.⁶

Levoy und Hanrahan stellen die Hypothese auf, dass sich die Parametrisierung eines Lichtstrahls anhand seiner Schnittpunkte durch zwei beliebig positionierter Ebenen im freien Raum ergibt. Wie in der Grafik zu sehen ist, wird ein Strahl im Parameterraum L mit den vier Dimensionen (u, v) und (s, t) beschrieben.

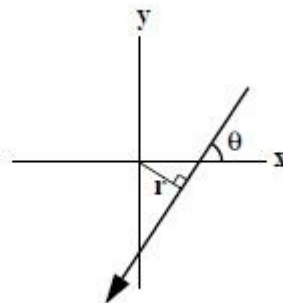
5 vgl. Levoy und Hanrahan, 1996: 2

6 vgl. ebd. : 2



[AB04]: 4D-Lichtfeld Parametrisierung. Ein Strahl im Parameterraum $L(u, v, s, t)$

Sie bezeichnen diese Parametrisierung als “*Light-Slab*“. Ein Strahl im Parameterraum wird dadurch definiert, dass er einen Punkt auf der Ebene (u, v) mit einem weiteren Punkt auf der (s, t) Ebene verbindet. Die entstandenen Werte werden mit kartesischen Werten beschrieben. In einem kartesischen Koordinatensystem können einzelne Lichtstrahlen somit visualisiert werden.⁷



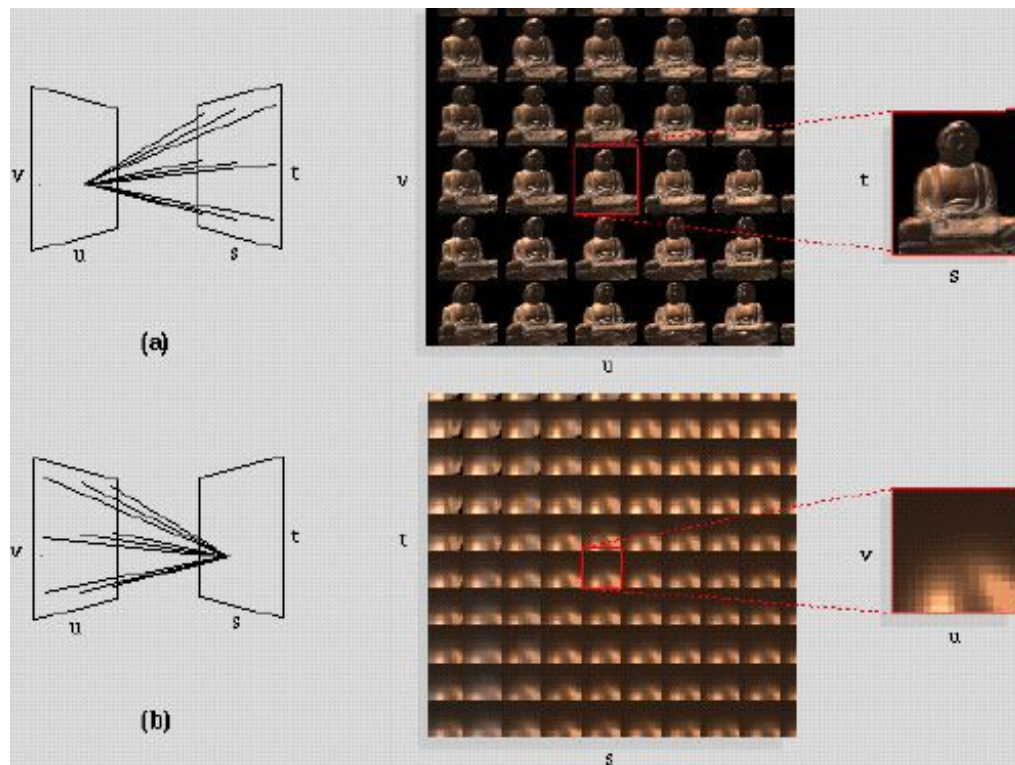
[AB05]: 4D-Lichtfeld Parametrisierung im kartesisches Koordinatensystem

Die Autoren beschreiben die Ebene (s, t) als *Focal Plane* und die Ebene (u, v) als *Camera Plane*. Ein Bild besteht wiederum aus den Ortskoordinaten (x, y) , die auch als Sensorkoordinaten beschrieben werden. Die Sensorkoordinaten (x, y) entsprechen den Koordinaten der Ebene (s, t) und müssen korrespondierend angepasst werden.

In ihrer Arbeit weisen Levoy und Hanrahan darauf hin, dass es möglich ist, ein Lichtfeld virtuell abzutasten. Die Abfolge, in denen die Lichtstrahlen auf die zwei Ebenen (u, v) und (s, t) treffen, entscheidet also, ob ein virtuelles Lichtfeld [AB06b] oder gerenderte Bilder des Lichtfeldes [AB6a] abgetastet werden. Demnach besteht jedes gerenderte Bild aus Lichtstrahlen, die von einem Punkt der (u, v) Ebene auf mehrere Punkte der (s, t) Ebene treffen. Bilder des virtuellen Lichtfeldrasters (s, t) beinhalten die Lichtstrah-

⁷ vgl. Levoy und Hanrahan, 1996: 2f

len, die aus mehreren Punkten der Ebene (u, v) austreten und die die (s, t) Ebene in einem Punkt durchqueren.⁸



[AB06]: Visualisierung des Lichtfeldebenen

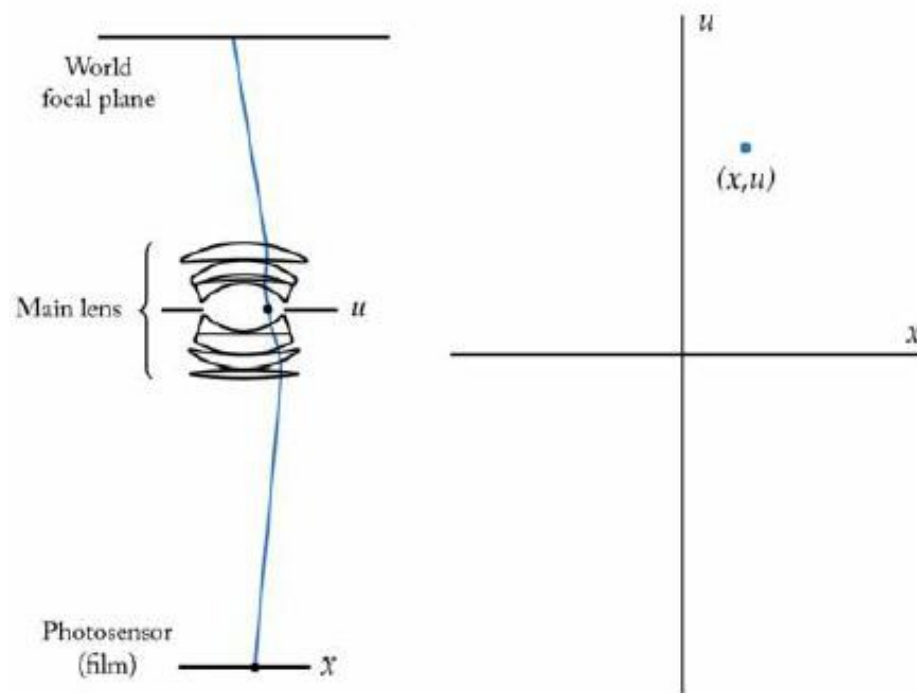
3 Digitale Lichtfeldkamera

Einer der Kernpunkte dieser Arbeit ist die Darstellung der Aufnahme des Lichtfelds innerhalb einer digitalen Filmkamera. Dieses Kapitel informiert über die benötigte Parametrisierung, dem allgemeinen Aufbau einer Lichtfeldkamera, bis zum schlussendlichen Rendering der Signaldaten zum fertigen Bild. Die gewonnenen theoretischen Grundlagen der Plenoptik aus Kapitel 2 *Grundlagen der Plenoptik* werden hier direkt aufgegriffen und im praktischen Zusammenhang angewendet. Es muss darauf hingewiesen werden, dass es viele Möglichkeiten gibt das Lichtfeld digital abzutasten und es eine noch größere Anzahl an Möglichkeiten gibt, das abgetastete Lichtfeld zu Interpretieren. Diese Arbeit reduziert die Darstellung der verschiedenen Möglichkeiten. Jedoch ermöglicht sie eine allgemeine Einführung in die Gesamtheit der Thematik und in die Funktion der Lichtfeldkamera.

⁸ vgl. Levoy und Hanrahan, 1996: 4

3.1 Verlauf des Lichtfeldes innerhalb der Lichtfeldkamera

Ren Ng ist der Gründer der Firma Lytro. Sie vertreibt als erste Firma weltweit die Technik der Lichtfeldkamera im Consumerbereich. Ng behandelt in seiner Dissertation *Digital Light Field Photography* das Konzept einer plenoptischen Kamera im Bereich der Photographie und gilt als einer der führenden Wissenschaftler in der Erforschung der Lichtfeld Fotografie. Ng beschreibt das Lichtfeld mit folgender Parametrisierung $L(u, v, x, y)$ und wandelt somit die Formulierung von Levoy und Hanrahan ab. Die Ebene (u, v) beschreibt die Schnittpunkte an der Hauptlinse und die Ebene (x, y) beschreibt die Koordinaten auf dem Sensor. Außerdem entwirft er das Ray-Space-Diagramm, um den Verlauf des Lichtfeldes grafisch darzustellen. In der Grafik bedient sich Ng einer zweidimensionalen Simplifizierung der Darstellung. Erneut zu erwähnen ist, dass Lichtstrahlen dreidimensional verlaufen.⁹

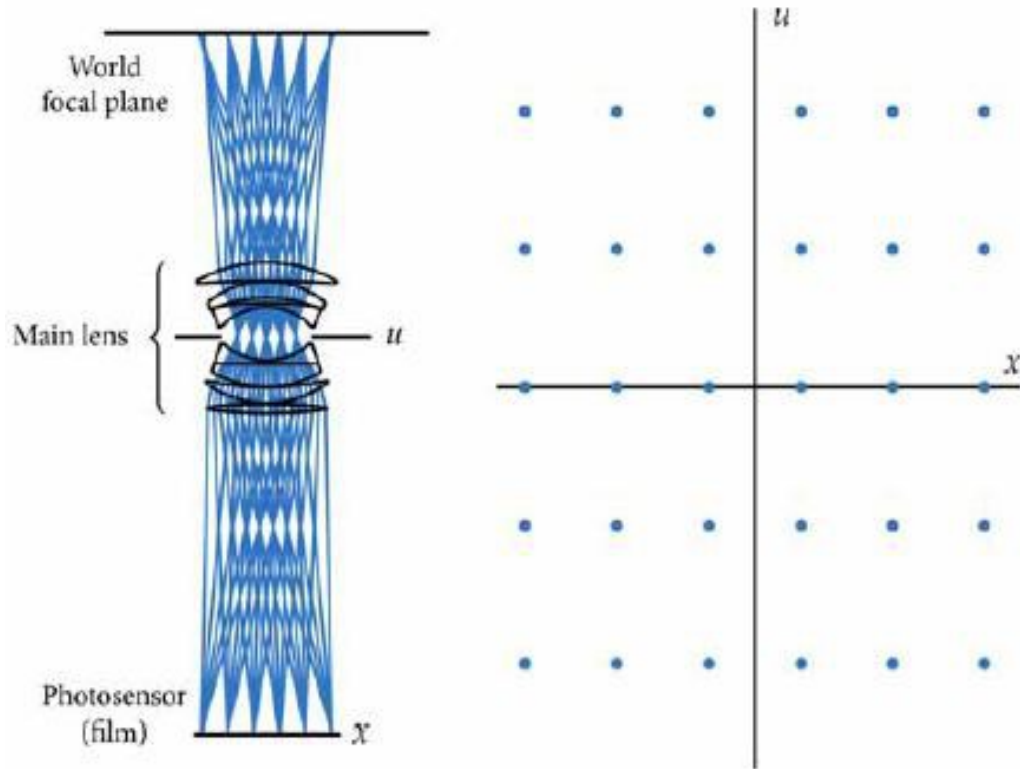


[AB07]: Parametrisierung des Lichtfeldes nach Ng. Beispiel einer digitalen Photographie

In Abbildung [AB07] ist links der Verlauf des Lichtstrahls in einer herkömmlichen Kamera gut nachzuvollziehen. Rechts sind die Schnittpunkte der Ebenen in einem kartesischen Koordinatensystem parametrisiert visualisiert.

9 vgl. Ren Ng, 2006: 14

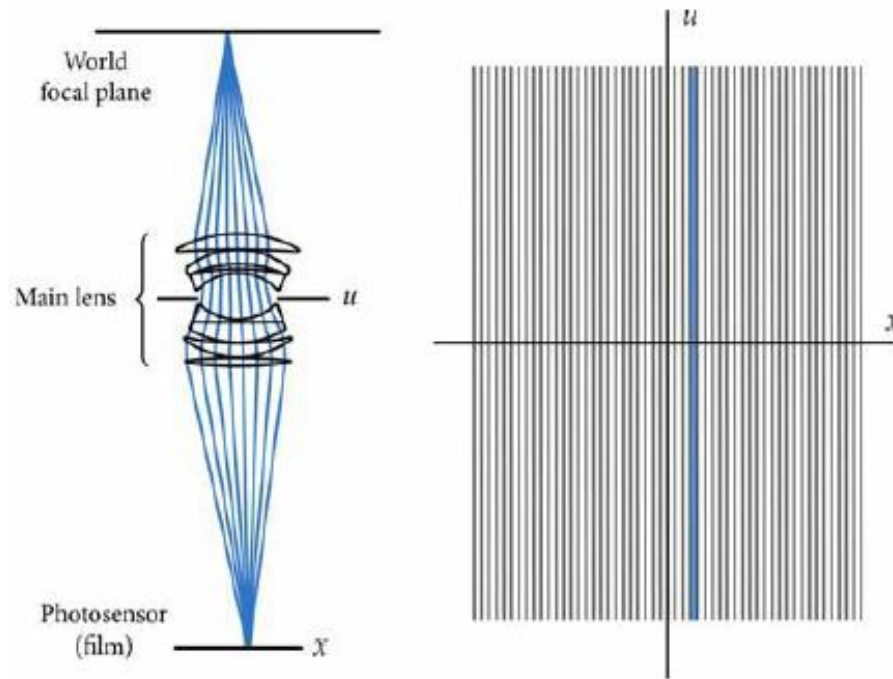
Abbildung [AB08] zeigt schematisch den Verlauf von „allen“ Lichtstrahlen, die durch die Hauptlinse auf den Sensor treffen. Nach Andelson und Bergen gehen von einem Gegenstand unendlich viele Lichtstrahlen in alle Richtungen des Raumes aus. Ein Teil davon wird von der Hauptlinse gesammelt. Entlang der Ebene u der Hauptlinse kann unterschieden werden, aus welcher Richtung die Lichtstrahlen in die Hauptlinse einfallen. Jedoch werden die Lichtstrahlen anschließend in einem Pixel auf dem Sensor fokussiert.



[AB08]: Ray-Space-Diagramm: Verlauf von allen Lichtstrahlen in der Kamera

Abbildung [AB09] zeigt, dass die Lichtstrahlen an der Ebene u unterschiedliche Schnittpunkte haben, jedoch alle Lichtstrahlen an der Ebene x den gleichen Schnittpunkt haben. Bei einer herkömmlichen digitalen Kamera gehen dabei die Richtungsinformationen der Lichtstrahlen verloren.¹⁰ Die schwarzen vertikalen Linien stehen für die Pixelbreite auf dem Sensor.

¹⁰ vgl. Ren Ng, 2006: 15

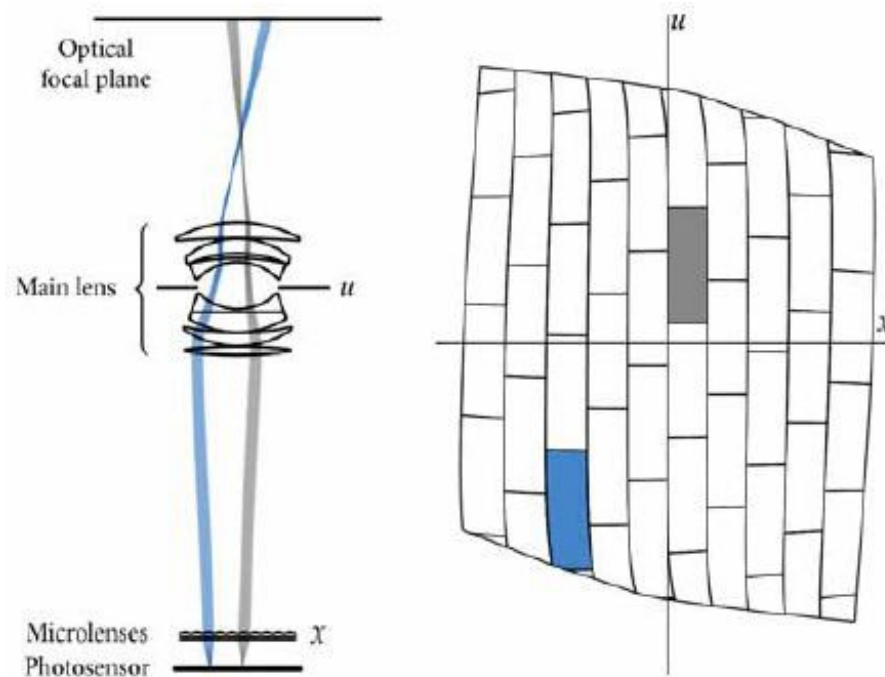


[AB09]: Ray-Space-Diagramm: Lichtstrahlen eines Objektpunktes, fokussiert in einem Bildpunkt

Gleichermaßen verlaufen die Lichtstrahlen in einer Lichtfeldkamera. Der wesentliche Unterschied ist der Einsatz eines Mikrolinsenrasters, das vor den Kamerasensor positioniert ist. Jede Mikrolinse deckt mehrere Pixel des Sensors ab und projiziert die einfallenden Lichtstrahlen als Miniaturbild auf dem jeweiligen Pixelbereich.¹¹ Auf die weitere Beschaffenheit des Mikrolinsenarrays und weitere Eigenschaften wird in Kapitel 3.2 *Mikrolinsen Array* eingegangen.

Das Ray-Space-Diagramm in Abbildung [AB10] zeigt die Abtastwerte des Lichtfeldes. Die Schnittpunkte eines Lichtstrahls auf der Ebene der Hauptlinse (\mathbf{u} , \mathbf{v}) und des Mikrolinsenarrays (\mathbf{s} , \mathbf{t}) bestimmen die Position in der gewählten Parametrisierung. Eine Spalte auf der Ebene \mathbf{u} beschreibt, wie auch bei der normalen Photographie in [AB09], alle Lichtstrahlen, die an einem Bildpunkt auf den Sensor treffen. Die Breite der Spalten resultiert aus der Tatsache, dass die Mikrolinsen die einfallenden Lichtstrahlen nicht nur auf einen Pixel des Sensors, sondern auf einem bestimmten Pixelverbund fokussieren. Die Größe des Pixelverbundes wird von der Breite der einzelnen Mikrolinse bestimmt. Infolgedessen gibt es eine geringere Anzahl an spatialer Abtastwerte \mathbf{x} , da die Anzahl der Mikrolinsen der Anzahl der Pixelverbände entsprechen.

¹¹ vgl. Ren Ng, 2006: 25



[AB10]: Ray-Space-Diagramm einer Lichtfeldkamera

Wiederrum ist die Spalte u in die Anzahl der Pixel unterteilt, die von einer Mikrolinse einbezogen werden. Dies beschreibt eine Spezifikation der Informationen auf der Ebene u und ermöglicht dem Betrachter die Möglichkeit nachzuvollziehen, wo der jeweilige Lichtstrahl die Hauptlinse auf der Ebene (u, v) durchquert hat und beinhaltet die gewünschten Richtungsinformationen. Einhergehend mit dieser Struktur, ist ein hoher Auflösungsverlust.

3.2 Microlinsen Array

Der wesentliche Unterschied in der Konstruktion einer plenoptischen Kamera (im Vergleich zu einer konventionellen Foto-/Filmkamera) ist die Implementierung eines Microlinsen Arrays, im folgendem MLA genannt, in die Konstruktion der Kamera. Ebenfalls ausschlaggebender Unterschied ist die anschließende Signalverarbeitung des Abgetasteten Lichtfeldes. Dieses Kapitel konzentriert sich auf die mechanische Bauweise des MLAs und den beeinflussenden Faktoren dieses Bauteils auf die einfallenden Lichtstrahlen.



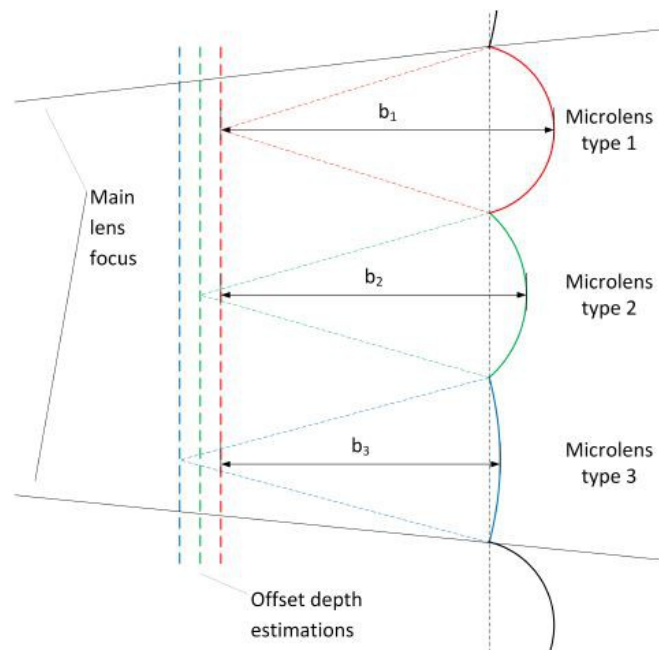
[AB11]: Thorlabs Mikrolinsen Array, gefasst in einem Adapter

Die Mikrolinsen in dem MLA sind aus einem Kunststoff Substrat geformt. Der Abstand der einzelnen Mikrolinsen zueinander ist einheitlich. Ein Bezeichnung *Array* beschreibt eine uniforme Ausrichtung und Struktur der Mikrolinsen. Es gibt verschiedene Verfahren um die feinen Mikrolinsenraster anzufertigen. Die gebräuchlichste Methode ist die Benutzung eines Fotolackes in Verbindung mit einer Kunststoffbasis. Der Fotolack wird durch eine bestimmte Art der Bestrahlung geschmolzen und das Resultat ist ein Raster aus konvexen Mikrolinsen.¹² Aufgrund der Tatsache, dass die Mikrolinsen aus Kunststoff sind, haben sie keine hohe optische Qualität. Bei dem Prozess der Herstellung kann es zu Ungenauigkeiten in der Form der Linsen kommen. Dies führt dazu, dass die Mikrolinsen in ihrer Abbildungsgenauigkeit Unregelmäßigkeiten im Bereich der Intensitätsdarstellung haben und zu chromatischen Aberration des Lichts im Bild führen.

Die geformte Mikrolinsenplatte wird zu einer kreisrunden Fläche zugeschnitten und in einem Adapter gefasst. Dieser erlaubt das MLA in dem optischen Tubus einer Kamera zu integrieren. Die Brennweite des MLA variiert in der jeweiligen Konstruktion der Mikrolinsen. Das in Abbildung [AB11] MLA hat eine beschriebene Brennweite f von 5,2mm.¹³ Diese Tatsache hat einen großen Einfluss auf die Konstruktion einer plenoptischen Kamera. Damit der Sensor der gewählten Kamera optimal ausgenutzt wird, müssen die Lichtstrahlen des projizierten Bildes auf die gesamte Fläche des Sensors angepasst werden. Darauf aufbauend sind die Faktoren der Brennweite f_{MLA} und das Auflagemaß der jeweiligen Kamera entscheidend. Auf diesen Punkt wird im weiteren Verlauf der Arbeit eingegangen, sobald die allgemeine Konstruktion einer Lichtfeldkamera behandelt wird.

¹² vgl. Dan Dali, 2000: 40ff

¹³ www.thorlab.de



[AB12]: Schematische Darstellung eines MLA in einer MFPC

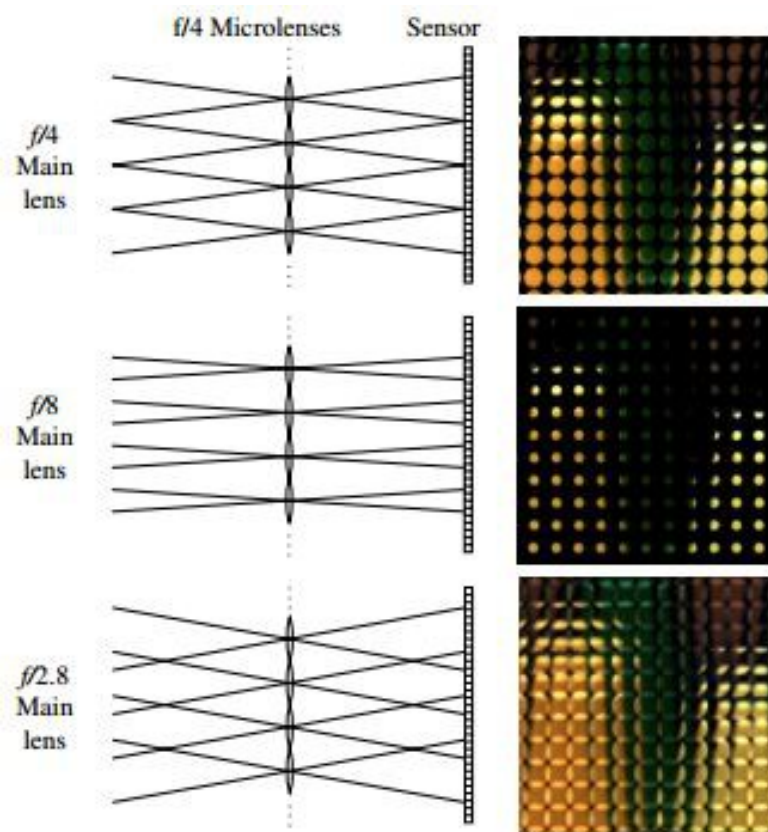
Es gibt Konstruktionen plenoptischer Kameras, in denen die einzelnen Mikrolinsen des MLAs unterschiedliche Brennweiten haben. Die Bauart plenoptischer Kameras werden *multi-focus plenoptic cameras (MFPC)* genannt.¹⁴ Das Mikrolinsenraster besteht z.B. aus Mikrolinsen mit vier verschiedenen Brennweiten, die sich in wiederkehrender Kombination auf dem Array befinden. Dies erweitert den Bereich der Schärfentiefe und ermöglicht einen größeren Bereich in dem die Schärfenebene nachträglich manipuliert werden kann. Die nachträgliche Schärfenverlagerung ist in ihrer Anwendung limitiert und hat ebenfalls Einfluss auf die effektive Auflösung des Bildes. Im Kapitel 4.2 *Signalverarbeitung und Datenkapazität* wird auf diese Tatsache näher eingegangen.

Wie in Kapitel 3.1 *Verlauf des Lichtfeldes innerhalb der Lichtfeldkamera* beschrieben wird, bestimmt die Größe der Mikrolinsen die räumlichen Abtastwerte auf der Ebene x im Parameterraum. Daraus folgt, dass die Anzahl der Mikrolinsen unmittelbar Einfluss auf die finale Auflösung der Lichtfeldkamera hat. Andelson und Wang beschreiben in ihrem Artikel *Single Lens Stereo with a Plenoptic Camera* die Aufteilung der Pixelstruktur in *Makropixel* und *Subpixel*.¹⁵ Eine Mikrolinse projiziert ein Miniaturbild auf einen Makropixel, welcher aus einer bestimmten Anzahl an Subpixeln besteht. Die Anzahl der Makropixel ist äquivalent zu der Anzahl der Mikrolinsen. Folgendes Beispiel veranschaulicht das Problem des Auflösungsverlustes.

¹⁴ vgl. Perwaß und Wietzke, 2012: 2

¹⁵ vgl. Andelson und Wang, 1992: 102

Ein Makropixel ist in n Subpixel unterteilt. Wenn ein Makropixel also die Fläche von 5×5 Subpixel abdeckt, wird die spatiale Auflösung durch den Wert n dividiert. Auf folgendes Beispiel angewendet, bedeutet dies, dass ein CCD Sensor mit einer spatialen Auflösung von 500×500 Pixeln, aufgeteilt in eine Pixelstruktur von Makropixeln (mit 5×5 Subpixeln), hat eine finale Auflösung von nur 100×100 Pixeln hat, mit denen ein Lichtfeld abgetastet wird. Naheliegend ist der Einsatz eines hochauflösenden Sensors, der den einhergehenden Auflösungsverlust ausgleichen kann. Jedoch hat die Verkleinerung der einzelnen Bauteile (der Pixel bzw. der einzelnen Photodioden) eines Sensors die Folge, dass dieser lichtunempfindlicher wird. Daraus resultiert eine stärkere elektronische Verstärkung des Bildsignales und damit verbundene Rauschverhalten des Sensors. Die Limitation, der die gesamten Technik der Mikrolinsen untergeordnet ist, ist die Lichtbeugung. Der Effekt der Lichtbeugung und Abberationen resultiert aus der Verarbeitung und dem Material aus denen die Mikrolinsen bestehen. Je kleiner die Mikrolinsen (und deren Blendenöffnungen) werden, desto größer wird der physikalische Effekt der Beugung der Lichtstrahlen.¹⁶



[AB13]: Detailaufnahme, Miniaturbild einer Mikrolinse

¹⁶ vgl. Ren Ng, 2006: 36

Abbildung [AB13] zeigt welchen Einfluss die jeweilig gewählte Blende der Hauptlinse auf das Sichtfeld der einzelnen Mikrolinsen hat. Die Blende der Mikrolinsen in der Abbildung hat einen Wert von $f/4$. Hat die Hauptlinse einen geringeren Blendenwert von $f/2.8$, ist das projizierte Bild der Mikrolinsen zu groß. Das Sichtfeld der Mikrolinsen geht über den begrenzten Bereich des Makropixels hinaus und es kommt zu Überlagerung der Mikrobilder, die von den Mikrolinsen auf die Subpixel projiziert werden.

Hat die Hauptlinse einen hohen Blendenwert von $f/8$ hat, ist das projizierte Bild der Mikrolinsen zu klein für die gebündelte Fläche der Subpixel. Ein weiterer Verlust von Auflösung ist die Folge. Wenn der Blendenwert der Hauptlinse und der Mikrolinsen gleich ist, ist eine optimale Belichtung der Makropixel gewährleistet, ohne Interferenzen der jeweiligen Miniaturbilder untereinander.¹⁷ Des Weiteren kann das Abtasten des Lichtfeldes zu Aliasing führen. Das Lichtfeld ist ein sehr hochfrequentes Signal, welches bei seiner Abtastung Effekte entstehen lässt, die das Bildsignal stören. Levoy und Hanrahan beschreiben in ihrer Arbeit den Einsatz eines Tiefpass Filters. Dieser Filter lässt Signalanteile bestimmter Frequenzen annähernd ungeschwächt passieren, blockt jedoch höhere Frequenzen des Bildsignales. Der Tiefpassfilters ist somit ebenfalls ein wichtiger Bauteil der plenoptischen Kamera.¹⁸

Die Entwicklung der Mikrolinsentechnik schreitet immer weiter voran und es gibt neuartige Ansätze, die an bestehenden Problemen der Mikrolinsentechnik arbeiten. Das Fraunhofer Institut in Itzehoe arbeitet mit bereits bewilligter Förderung der **ZIM**¹⁹ an einer Herstellung von Mikrolinsen aus Glas. Sie haben eine preisgünstige Verfahrensart entwickelt, um Mikrolinsenarrays kontrollierter und genauer herzustellen. Negative Effekte wie Aberrationen und Ungenauigkeit können dadurch reduziert werden.²⁰ Außerdem gibt einen grundsätzlichen Ansatz, Mikrolinsen aus einer Kombination aus Kunststoffelementen und einem kristallinen Hydrogel herzustellen. Durch einen elektrischen Impuls wird die flüssige Form der Mikrolinsen verändert und die Brennweite somit verändert.²¹

17 vgl. Ng et al., 2005: 2f

18 vgl. Levoy und Hanrahan, 1996: 5

19 siehe Abkürzungsverzeichnis

20 www.zim-bmw.de, ZIM-KOOP 29, 2010

21 www.weltderphysik.de, Löffken 2006

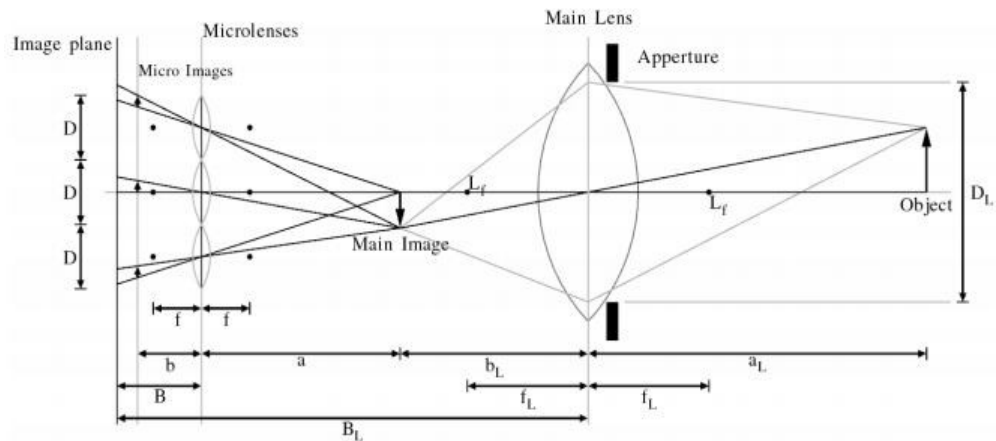
3.3 Konstruktion einer plenoptischen Kamera

Die Implementierung eines MLAs in den optischen Tubus der Kamera ist nicht die einzige Veränderung, die in der Konstruktion einer plenoptischen Kamera vorgenommen wird. Wie zuvor beschrieben, gibt es verschiedene Aufbauten einer plenoptischen Kamera und die jeweiligen Systeme haben ihre Vor- und Nachteile. Im folgendem Text dienen Entwicklungen der Firma ARRI und der Firma Lytro als Beispiel, für mögliche Konstruktionen eines plenoptischen Kamerasystems. Grundsätzlich muss erneut darauf hingewiesen werden, dass diese Systeme nur einzelne Beispiele sind und es eine Vielzahl von weiteren Entwicklungsansätzen gibt.

Der grundsätzliche Aufbau ist bereits aus dem Kapitel 3.1 *Verlauf des Lichtfeldes innerhalb der Kamera* dieser Arbeit bekannt, jedoch wird nun das Verhältnis der einzelnen Bauteile des optischen Tubus, miteinander in Beziehung gesetzt. Verschiedene Aspekte werden erläutert und auf vorhandene Problematiken hingewiesen. In Abbildung [AB14] ist der schematische Aufbau der Lichtfeldkamera zu sehen. Zu beachten ist, dass die einzelnen Bauteile nicht im richtigen Größenverhältnis dargestellt sind. Die Darstellung ist auf eine schematische Darstellung reduziert. Zum Beispiel sind die einzelnen Mikrolinsen ca. 280 mal kleiner als die Hauptlinse der Kamera.²²

Die von einem Punkt ausgehenden Lichtstrahlen werden von der Hauptlinse in einem Punkt auf der Fokalebene fokussiert. Bei einer herkömmlichen Kamera entspricht diese Ebene dem lichtempfindlichen Photosensor, jedoch liegt in der Konstruktion einer plenoptischen Kamera auf dieser Ebene das MLA. Zusammengefasst bedeutet dies, dass der Kameraassistent die Schärfebene nicht länger von der Sensorebene der Kamera aus beurteilt, sondern von der Ebene des MLAs.

²² Beispiel des von Ren Ng entwickelten Prototyps



[AB14]: Schematischer Aufbau einer plenoptischen Kamera

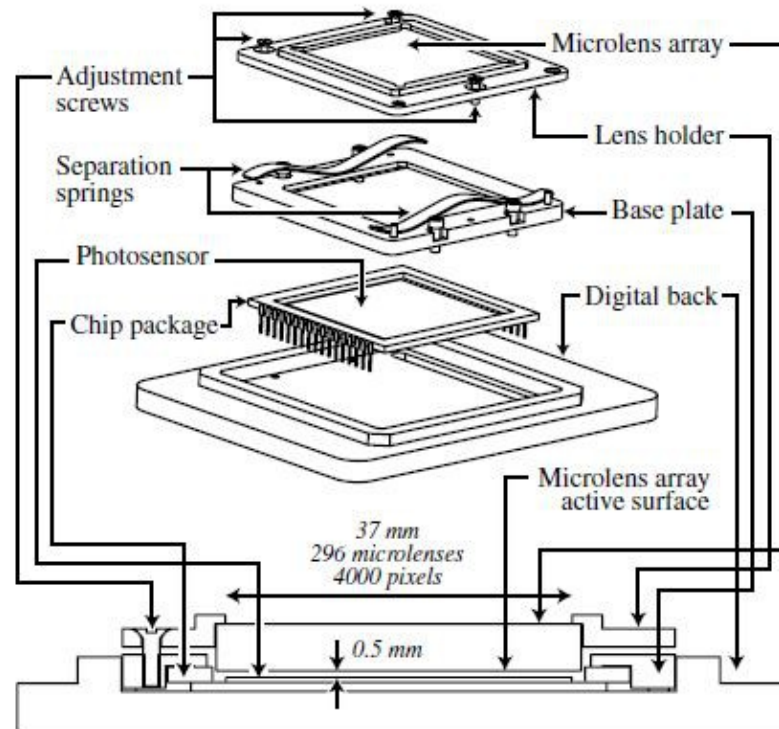
Nachdem die Lichtstrahlen von der Hauptlinse auf dem MLA fokussiert wurden, wird unterhalb der jeweiligen Mikrolinsen ein Miniaturbild auf einen Pixelverbund des Sensors projiziert. Diese Miniaturbilder beinhalten die Richtungsinformationen des Lichtfeldes und ermöglichen, miteinander in Beziehung gesetzt, eine räumliche Zuordnung von Objekten zueinander.²³ Die Herangehensweise von Ren Ng und seiner Firma Lytro ist, dass sie den Mikrolinsenverbund im Abstand ihrer Brennweite f zum Sensor positionieren. Der Sensor wird so positioniert, dass er in der Unendlichkeit der Mikrolinsen fokussiert wird.²⁴ Die folgende schematische Darstellung [AB15] zeigt den von Ng entwickelten Prototyp des *Lichtfeldsensors*.

Die Herangehensweise von Ren Ng und seiner Firma Lytro ist, dass sie den Mikrolinsenverbund im Abstand ihrer Brennweite f zum Sensor positionieren. Der Sensor wird so positioniert, dass er in der Unendlichkeit der Mikrolinsen fokussiert wird.²⁵ Die folgende schematische Darstellung [AB15] zeigt den von Ng entwickelten Prototyp des *Lichtfeldsensors*. Der Aufbau ist fest in die Kamera integriert und die Mikrolinsen befinden sich unmittelbar vor dem Sensor. Der Abbildungsmaßstab β dieser Konstruktion ist dementsprechend klein und unflexibel. Die Forschung und Entwicklung der Plenoptik im Bereich der Film- und Fernsehen-Branche befindet sich noch in einem sehr experimentellen Stadium. Viele Firmen wählen für ihre Forschung im Bereich der Plenoptik bestehende Kamerasysteme ihrer Produktpalette.

²³ vgl. Ng et al., 2005: 2

²⁴ vgl. Ng, 2006: 42

²⁵ vgl. ebd. : 42



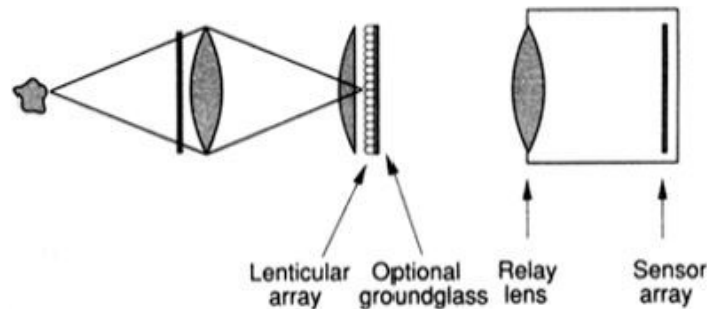
[AB15]: Schematischer Aufbau des Lichtfeldsensors von Lytro

Dies hat den Vorteil, dass das Grundgerüst der prozessierenden Einheit (der Kamera selbst) bereits vorhanden und bekannt ist. Die beschriebene Variante von Ren Ng funktioniert in den speziell von Lytro entwickelten Kameras sehr gut. Jedoch ist die Implementierung dieser Konstruktion in bestehende Kamerasysteme sehr aufwendig, bzw. nicht möglich. Deshalb wird bei vielen Entwicklungen eines plenoptischen Kamerasystems auf den Einsatz einer Relais Linse zurückgegriffen.

Andelson und Wang haben sich in ihren Experimenten ebenfalls für den Einsatz einer Relais Linse in das optische System ihrer plenoptischen Kamera entschieden. Sie haben somit die virtuellen Bilder der Microlinsen auf die Bildgröße der Kamera angepasst und die vorhandene Sensorfläche optimal genutzt. Jedoch beschreiben sie bei dem Einsatz eines Relais Optik basierenden Systems Probleme mit der Vignettierung des Bildsignals. Um diesem Effekt entgegenzuwirken benutzen sie einen schwachen Diffuser, der in den optischen Tubus integriert wird. Der Einsatz des Diffusors hat jedoch die Folge, dass die einfallende Lichtintensität geringfügig vermindert wird.²⁶

²⁶ vgl. Andelson und Wang, 1992: 102

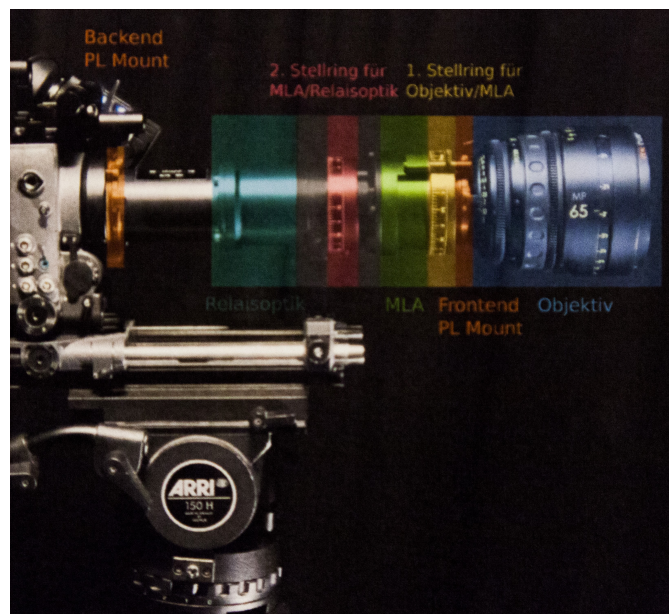
Abbildung [AB16] zeigt den grundlegende Implementierung der Relais-Linse in den optischen Aufbau der plenoptischen Kamera.



[AB16]: Implementierung einer Relais Linse, in den optischen Tubus der plenoptischen Kamera

Christopher Hahne hat im Rahmen seiner Bachelorarbeit bei einem Projekt der Firma ARRI mitgearbeitet. Bei diesem Projekt geht es um die Integration plenoptischer Baugruppen in das hauseigene *ARRI ALEXA* Kamerasystem. Das Projekt ist Teil eines EU-Projekts *3D VIVANT* von der Brunel University aus London.²⁷

Die mitwirkenden Ingenieure bei ARRI haben sich bei der Konzeption eines plenoptischen Kamerasystems ebenfalls für den Einsatz einer Relais Optik entschieden. Sie können die Größe der Mikrobilder genau auf die Bildgröße der Kamera anpassen und können bestehende Grundelemente wie; Kameramount (PL Mount) und das damit vorhandene Auflagemaß unverändert nutzen. Abbildung [AB17] zeigt den Aufbau des ARRI Prototyps.



[AB17]: ARRI Prototyp: Plenoptischer Tubus

²⁷ vgl. Hahne, 2012: 12

Der oben zu sehende Aufbau setzt die, in Kapitel 2.2 *Das 4D- Lichtfeld* eingeführten Thesen von Levoy und Hanrahan um. Die Hauptlinse fungiert als (u, v) Ebene und das MLA als (s, t) Ebene. Jedoch erweitert dieser Aufbau den plenoptischen Tubus um die Relais Optik, die wiederum nichts an den zuvor hergeleiteten Thesen verändert. Hahne beschreibt in seiner Arbeit, dass die beteiligten Ingenieure den plenoptischen Tubus so konzeptioniert haben, dass der Abstand der einzelnen optischen Bauteile variabel ist und entsprechend angepasst werden kann. Dies ermöglicht den flexiblen Einsatz der optischen Bauteile. Mikrolinsenarrays können z.B. für verbesserte, oder anders konfigurierte Mikrolinsensysteme²⁸ ausgetauscht werden.²⁹ Die optischen Elemente sind voneinander abhängig und eine optimale Abtastung des Lichtfeldes erfordert eine Kalibrierung des gesamten Systems. Vor allem kommt es bei der Kalibrierung auf die Baugruppen Hauptlinse und Mikrolinsenarray, Mikrolinsenarray und Relais Optik an. Bei dem ARRI Prototypen können herkömmliche Filmoptiken mit einem PL Mount benutzt werden. In dem oben abgebildeten Beispiel wird ein 65mm Carl Zeiss Master Prime benutzt. Es handelt sich dabei um eine qualitativ sehr hochwertige Festbrennweite, die für klare und sehr scharfe Abbildungseigenschaften bekannt ist. Das Objektiv wird in einem PL Mount, an der vorderen Seite des Mikrolinsenbauteils eingesetzt. Der PL Mount besitzt eine Länge von exakt 52mm, vom Auflagemaß bis zur Bildebene. Jedes PL Objektiv wird mit diesem Auflagemaß berechnet. Unabhängig von der Brennweite bilden sie das einfallende Licht standardisiert auf der Bildebene im Abstand (der letzten Linsengruppe des Objektives) von 52mm ab. Der Abstand des MLAs zum Hauptobjektiv muss demnach exakt an das Auflagemaß angepasst und kalibriert werden. Ein Stelling am MLA-Modul ermöglicht eine präzise Einstellung der Bauteile.

Die Kalibrierung des gesamten Systems, ausgehend vom Sensor der Kamera, beginnt mit dem Einsetzen der Relais Optik. Durch die Verwendung einer PL Mounts an der Relais Optik und dem passenden PL Mount an der Kamera ist dieses Abstandverhältnis bereits festgelegt. Schließlich muss der Abstand zwischen der Relais Optik und der MLA konfiguriert werden. Ziel ist es, dass die Brennebene des MLA auf der Objektebene der Relais Optik liegt.³⁰ Die Kalibrierung der einzelnen optischen Bauteile ist ein notwendiger Prozess, der vor dem Einsatz der Prototyp Lichtfeldkamera von ARRI durchgeführt werden muss. Dieser Prozess benötigt eine sehr präzise Vorgehensweise um die jeweiligen Parameter genau zu bestimmen. Somit ist die Kalibrierung der Kamera Grundvoraussetzung für die korrekte Abtastung des Lichtfeldes.

28 z.B. mit unterschiedlichen Brennweiten

29 vgl. Hahne, 2012: 16

30 vgl. ebd. : 18

In Abbildung [AB17] ist ebenfalls zu sehen, dass der plenoptische Tubus außerhalb der Kamera sehr lang ist. Herkömmliche Kamerasysteme bestehen meist nur aus dem Kamerakorpus und dem eingesetzten Objektiv. Additional dazu wird oft Zubehör wie Kompendien, Cine Measure Tapes und den angebrachten Flügeltoren benutzt, jedoch ist mit dem Einsatz des plenoptischen Tubus eine gewisse Baugröße vordefiniert. Welche Auswirkungen diese Bauweise auf die Arbeit am Set hat und welche Einsatzmöglichkeiten die Technik der Lichtfeldkamera hat, wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit analysiert.

4 Digitale Signalverarbeitung von Lichtfeldaufnahmen

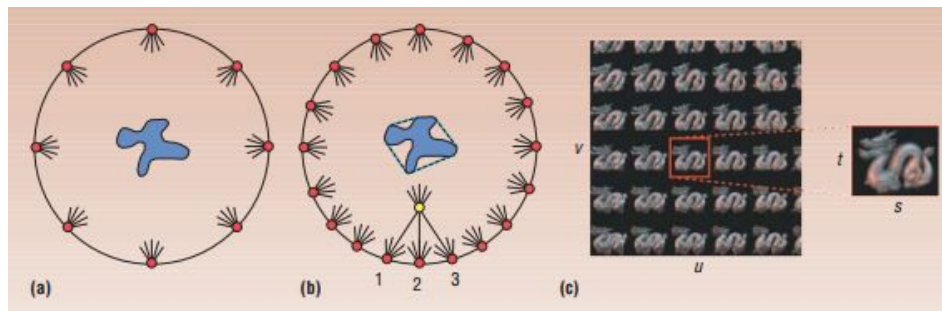
Diese Arbeit hat im bisherigen Umfang die theoretischen Grundlagen der Plenoptik und den schematischen Verlauf der Lichtstrahlen innerhalb der Lichtfeldkamera dargelegt. Die einzelnen notwendigen optischen Bauteile, die zur Abtastung des Lichtfeldes notwendig sind, wurden beschrieben und das mechanische bzw. optische Grundprinzip der Abtastung wurde eingeleitet. Nun gilt es grundsätzlich nachzuvollziehen, wie eine plenoptische Kamera das Lichtfeld abtastet und ein für den Menschen wahrnehmbares digitales 2D Bild generiert. Außerdem wird in diesem Kapitel beschrieben, welche Faktoren die nachträgliche Manipulation der Schärfeebene beeinflussen und welche Informationen des Lichtfeldes genutzt werden können.

4.1 Lichtfeld Rendering

Levoy und Hanrahan haben in ihrer Arbeit, neben der vierdimensionalen Parametrisierung des Lichtfeldes, einführende Thesen zur Aufnahme und Darstellung des Lichtfeldes formuliert. Sie interpretieren das Lichtfeld als zweidimensionale Sammlung von ebenfalls zweidimensionalen Einzelbildern, die jeweils von einem anderen Beobachtungspunkt aufgenommen wurden.³¹ Die Anzahl, Anordnung und Auflösung der Einzelbilder (Mikrobilder) miteinander in Beziehung gesetzt entspricht der Abtastung des 4D-Lichtfeldes. Das finale Bildsignal wird unter Zuhilfenahme eines Algorithmus aus den Pixel der Mikrobildern erstellt.³²

³¹ vgl. Levoy und Hanrahan, 1996: 5

³² vgl. Levoy, 2006: 48



[AB18]: Lichtfeld Rendering

Die in Kapitel 2.1 eingeleitete Aussage der Plenoptischen Funktion wird nun im praktischen Kontext betrachtet. Wenn ein Gegenstand, wie in Abbildung [AB18], aus einer Vielzahl aus Perspektiven aufgenommen wird, kann durch Umsortierung der Subpixel ein neues Bild erstellt werden. Ausgangspunkt dafür ist die genaue Ermittlung der Mittelpunktkoordinaten der Mikrobilder. Die Mittelpunktkoordinaten werden fortan mit dem Kürzel MIC für *Microimage Centres* aufgeführt. Auf die Abbildung [AB18b] angewendet, bedeutet dies folgendes: der gelbe Punkt beschreibt eine neu generierte Perspektive, welche aus den Subpixeln der eng zueinander positionierten Perspektiven 1,2 und 3 interpoliert wurde. Das MIC an der Position des gelben Punktes ist identisch mit dem MIC an Punkt 2. Außerdem sind die Subpixel rechts von dem MIC identisch mit einigen Subpixeln der Perspektive 1 und die Subpixel links von dem MIC mit einigen Subpixeln der Perspektive 3.³³ Die anschließende Signalverarbeitung wird Interpolation genannt. Dieser Vorgang beschreibt die Erzeugung neuer Bildinhalte durch Zusammenrechnen bestehender Signalinformationen.

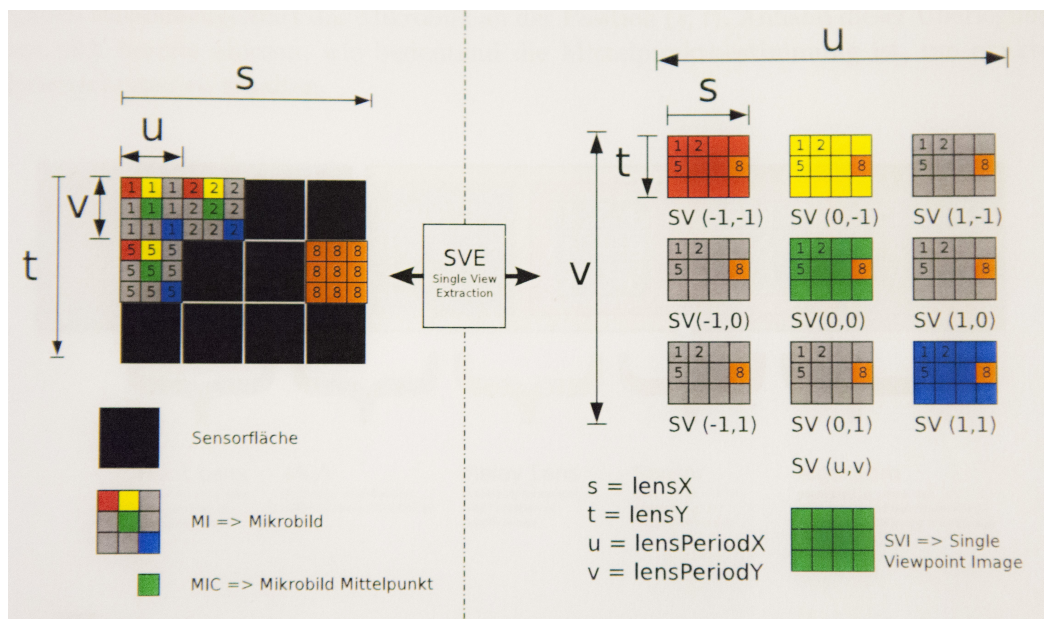
Zusammengefasst dient das MIC als Orientierungspunkt für die folgende Umverteilung der Subpixel. Somit kann definiert werden, welche Subpixel für die Interpolation benötigt werden und an welchen Sensor Koordinaten diese Aktion ausgeführt werden soll. Es ist darauf hinzuweisen, dass die MIC durch eine errechnete Vorhersage bestimmt werden könnten. Diese Vorhersage wird jedoch von den realen Bildmittelpunkten abweichen. In dem Kapitel 3.2 *Mikrolinsen Array* ist beschrieben, dass es bei den Mikrolinsen zu optischen Verzeichnungen durch die Mikrolinsen selbst kommt. Für den Signalverarbeitungsprozess sind jedoch die genauen Ortskoordinaten der Mikrobilder erforderlich. Aufgrund dieser Tatsache, bedarf es bei der Verwendung einer plenoptischen Kamera, neben der optischen und mechanischen Kalibrierung der Kamera, eine digitale Kalibrierung zur exakten Bestimmung der MICs. Nur so kann erreicht werden, dass das abgetastete Lichtfeld mit dem Digitalisierten übereinstimmt.

³³ vgl. Levoy, 2006: 48

4.2 Signalverarbeitung und Datenkapazität

Die digitale Signalverarbeitung von Lichtfeldaufnahmen wird in dieser Arbeit nicht tiefer gehend behandelt, da es sich bei diesem Prozess um einen sehr komplexen Sachverhalt handelt, der den Umfang dieser Arbeit übersteigt. Jedoch verlangt die allgemeine Betrachtung der plenoptischen Kamera eine grundsätzliche Einführung dieser Thematik.

Stark vereinfacht geht es um die Transformation einer virtuellen Lichtfeldaufnahme in ein für den Menschen wahrnehmbares Bild. Wie bereits beschrieben, ist dafür eine Umsortierung der Bildpixel notwendig. Die MICs in Kombination mit einer zuvor definierten Sortierungsvorschrift der Makropixel und ihren Ortskoordinaten gibt den „Bauplan“ für das zu erstellende Bild vor.³⁴ Die Abbildung [AB19] veranschaulicht diesen Sachverhalt.



[AB19] : Single Viewpoint Extraction

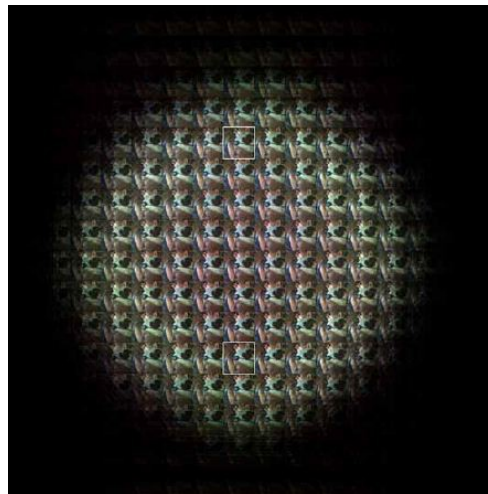
Die von Christopher Hahne erstellte Grafik veranschaulicht „[...]in vereinfachter Weise die erforderliche Umsortierung der Pixel, die den nach ihrer Richtung eintreffenden Lichtstrahlen entsprechen.“³⁵ Die Position der Mikrobilder auf dem Sensor wird mit den kartesischen Koordinaten s und t beschrieben. Die Pixel der einzelnen Mikrobilder werden durch die Koordinaten u und v entsprechend zugewiesen. Auf der linken Seite

³⁴ vgl. Hahne, 2012: 29ff

³⁵ vgl. ebd. : 29

der Grafik ist das aus den Subpixeln transformierte Bild des Lichtfeldes zu sehen. „Die farbliche Markierung der Bildpunkte deutet an, nach welcher Vorschrift die Pixel neu platziert werden müssen, um ein real perspektivisches Bild zu ergeben.“³⁶ Die so gesammelten Richtungsinformationen des Lichtfeldes, sowie die Vielzahl von verschiedenen Beobachtungspunkten (Mikrolinsen) ermöglicht das Synthetisieren verschiedener Perspektiven und die nachträgliche Fokussierung der Lichtfeldaufnahme.³⁷

Diese Tatsache ist ausschlaggebend dafür, dass die plenoptische Kamera ebenfalls zur Erzeugung von stereoskopischen 3D-Bildinhalten genutzt werden kann. Durch die Verschiebung des Beobachtungspunkt kann die korrespondierende Parallaxe des Objektes gemessen werden und daraus die erforderlichen Tiefenwerte des Objekts bestimmt werden.³⁸



[AB20]: Raw images der Mikrolinse, Bild der Hauptlinse ist (A3) in [AB23]

Abbildung [AB20] zeigt die sog. *raw images* der Mikrolinsen, die auf den Sensor treffen. Aus diesen Mikrobildern, welche die Sub-Bilder der Hauptlinse sind, wird in dem zuvor beschriebenen Prozess eine Aufnahme des Lichtfeldes transformiert.

Dieser Prozess benötigt einen komplexen Ablauf von Rechenaktionen und erfordert hohe Datenverarbeitungsraten. Außerdem ist das Lichtfeld ein hochfrequentes Signal, dessen Digitalisierung eine große Datenkapazität erfordert. Hahne berechnet in seiner Arbeit die Größe einer einzelnen und unkomprimierten Aufnahme des Lichtfeldes und beschreibt ein benötigtes Datenvolumen von 3 GB.³⁹ Dementsprechend wird bei der fil-

³⁶ vgl. Hahne, 2012: 29

³⁷ vgl. Andelson und Wang, 1992: 105

³⁸ vgl. ebd. : 99

³⁹ vgl. Hahne, 2012: 6

mischen Erfassung des Lichtfeldes eine weitaus größere Menge an Daten (mit dem Faktor ***fps***) produziert. Damit diese Datenmengen von heutigen Speichersystemen verarbeitet werden können, ist eine Kompression des Bildsignals notwendig. Dieser Sachverhalt hat zur Folge, dass die Aufnahme eines Lichtfeldes bisher mit einem hohen Auflösungsverlust einhergeht.⁴⁰

4.3 Digitale Refokussierung der Lichtfeldaufnahmen

Das Refokussieren der digitalisierten Lichtfeldaufnahme ist eine Anwendung, die es dem Nutzer der plenoptischen Kamera ermöglicht, die Schärfeebene nachträglich zu verändern. Ausgangspunkt für diese Anwendung sind die gesammelten Richtungsinformationen, der auf die Mikrolinsen treffenden Lichtstrahlen. Eine Lichtfeldkamera ermöglicht somit die Verarbeitung einer Vielzahl an Informationen, die bei einer herkömmlichen zweidimensionalen Fotografie verloren gehen würden. Die nachträgliche Bearbeitung der digitalisierten Lichtbildaufnahmen wird mit Hilfe einer speziell angepassten Software durchgeführt. Diese Software nutzt die gesammelten Information und generiert mit bestimmten Algorithmen und Verarbeitungsprozessen neue Bildinhalte. Die angewendete Software basiert oft auf etablierten Programmiersprachen (C++) und kalkuliert aus den digitalisierten Informationen die Tiefenwerte des Lichtfeldes.



[AB21]: Softwareinterface von der Firma Raytrix GmbH, re. Synthetisiertes 3D Bild der Lichtfeldaufnahme

40 vgl. Levoy und Hanrahan, 1996: 7

Die folgenden Bilder in Abbildung [AB22] sind aus einer Testaufnahme von Ren Ng synthetisiert worden. Bild A3 zeigt das ursprünglich fokussierte Bild. Die Bilder A1 – A5 beschreiben die Möglichkeit der variablen Verschiebung der Fokusebene im Bild.



[AB22]: A1 – A5 sind Beispiele für refokussierte Bilder, B ist ein Beispiel für die digitale Erweiterung des Tiefenschärfe-Bereiches

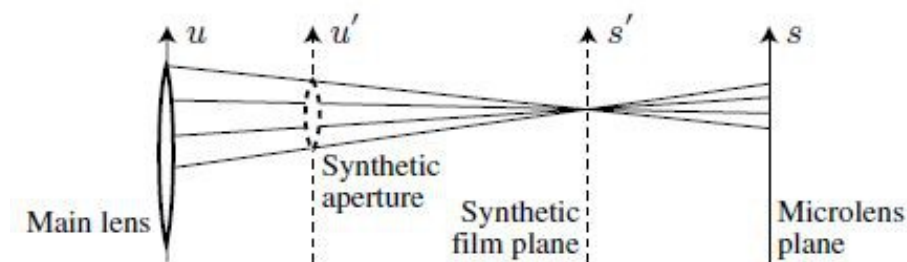
Des Weiteren ist Bild B ein Beispiel für die digitale Erweiterung der Tiefenschärfe. Grundsätzlich gibt es zwei Anwendungen, von denen die digitale Refokussierung Gebrauch gemacht wird. Die synthetische Schärfeebene der Lichtfeldaufnahme durch die Simulation einer Kamera, sowie die digitale Erweiterung der Tiefenschärfe.⁴¹ An dieser Stelle ist erneut darauf hinzuweisen, dass es sich bei den folgenden Erläuterungen des Refokussierens der digitalen Lichtfeldaufnahmen, um eine allgemeine Einführung handelt. Die lückenlose Darstellung dieses Prozesses kann nicht gewährleistet werden, da die Vermittlung der Grundidee dieser Thematik für die anschließende Analyse der Plenoptik im Filmbereich entscheidend ist.

41 vgl. Ren Ng, 2006: 49

4.4 Synthetische Kamera

Dieses Kapitel erläutert, wie der Prozess des Refokussierens im Allgemeinen funktioniert. Ren Ng wendet die Methode *Synthetic Photography Equation* zur Ausführung dieses Prozesses an. Es gibt eine Vielzahl von Methoden, die die Schärfeebene nachträglich zu verändern, jedoch kann diese Methode leicht an bestehende Kamerasysteme adaptiert werden und bietet sich somit zur Einführung der Thematik an.

Ausgangspunkt ist die Simulation einer herkömmlichen Kamera, die auf eine andere Schärfeebene als die reale plenoptische Kamera fokussiert.⁴² Folgende Grafik [AB23] zeigt ein zweidimensionales Schema dieser Aussage. Die in Kapitel 2.2 *Das 4D-Lichtfeld* eingeführten Ebenen (u, v) und (s, t) sind die physikalischen Ebenen der plenoptischen Kamera (Hauptlinse und Sensor). Die Ebenen (u', v') und (s', t') sind die synthetisierten Ebenen, die für die Refokussierung virtuell generiert werden. Sie sind Hauptlinse und Sensor der synthetischen Kamera.



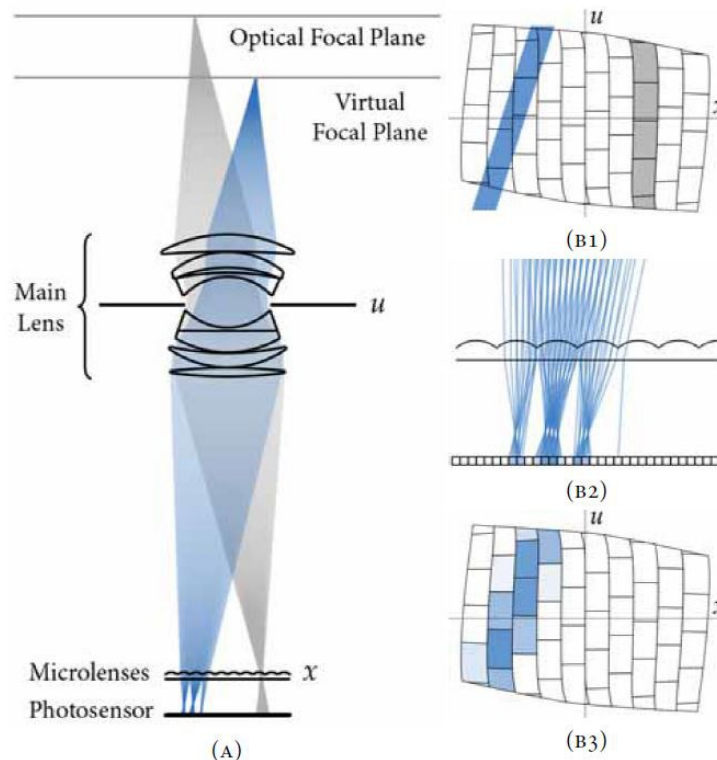
[AB23]: Zweidimensionales Schema der Synthetic Photography

Der Schnittpunkt der Lichtstrahlen, auf der (s', t') Ebene simuliert den Pixel, auf dem die gewünschte Schärfeebene fokussiert wird. Dementsprechend kann nachvollzogen werden welche Lichtstrahlen für das Synthetisieren der neuen Schärfeebene relevant sind. Diese Lichtstrahlen können bei der Abtastung des Lichtfeldes nachvollzogen werden, indem ihre Schnittpunkte der Ebenen (u, v) und (s, t) parametrisiert und in den Algorithmus der Refokussierung implementiert werden⁴³ Die Aussage, „[...] *refocusing is conceptually a summary of dilated and shifted versions of the sub-aperture images over the entire uv plane.*“, fasst diese Beschreibung zusammen. Die virtuelle Fokalebene kann durch integrale Summierung und Umverteilung der jeweiligen Mikrobilder generiert werden.⁴⁴

⁴² vgl. Ng et al., 2005: 4

⁴³ vgl. Ebd. : 4

⁴⁴ vgl. Ren Ng, 2006: 53f



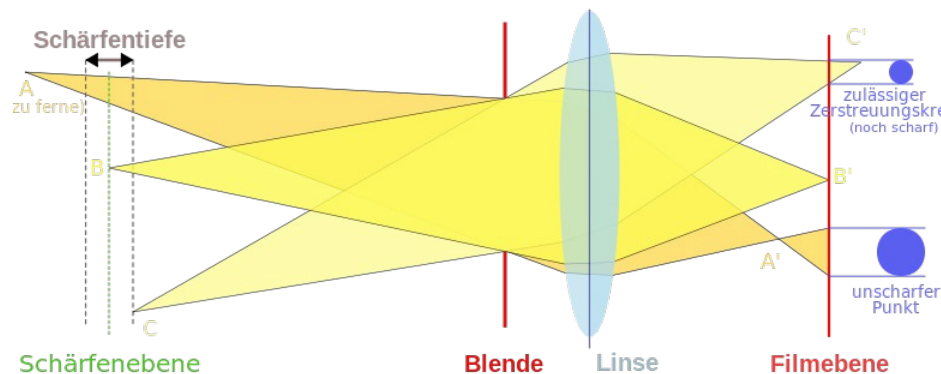
[AB24]: (A) Virtuelle Schärfenebene und Verlauf der relevanten Lichtstrahlen des Lichtfeldes, (B1)

Abbildung [AB24] beschreibt diesen Sachverhalt ebenfalls. Wird der Verlauf der Lichtstrahlen im Ray-Space-Diagramm dargestellt, lässt sich nachvollziehen wie die Lichtstrahlen auf die einzelnen Mikrolinsen auftreffen. Grafik (B1) zeigt eine integrale Darstellung der benötigten Koordinaten, für die zu generierende synthetische Filmebene. Die realen Koordinaten in Grafik (B3) beschreiben die Schnittpunkte der Lichtstrahlen mit den jeweiligen Mikrolinsen im MLA. Wie in Kapitel 4.1 und 4.2 erläutert, werden die benötigten Subpixel der jeweiligen Mikrobilder neu strukturiert und summiert. Mit diesem Prozess entsteht ein synthetisch hergestelltes Bild des Lichtfeldes, dass auf die gewählte virtuelle Fokalebene fokussiert ist.

4.5 Erweiterung der Tiefenschärfe

Bei der digitalen Erweiterung der Tiefenschärfe handelt es sich um eine Anwendung des Refokussierens, die durch die gesammelten Informationen des Lichtfeldes ermöglicht wird. Allgemein betrachtet, beschreibt die Tiefenschärfe einen bestimmten Bereich auf der Schärfenebene. Ein Objekt erscheint scharf zu sein, wenn es in dem Bereich

der gewählten Schärfenebene liegt. Welche optischen Eigenschaften diese Tatsache beeinflussen und wie die Tiefenschärfe digital erweitert wird, wird im Verlauf dieses Kapitels erläutert.



[AB25]: Darstellung von Apertur und Zerstreuungskreis

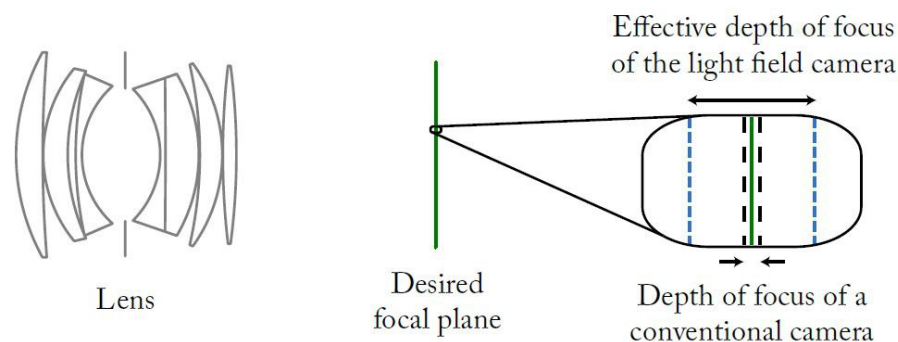
Das Objektiv einer Kamera wird eingesetzt, um ein reelles Bild eines Objektes auf die Bildebene des Sensors abzubilden. Die Größe der Blendenöffnung hat Auswirkung auf den Tiefenschärfenbereich eines Objektivs. Wird die Blendenöffnung verringert vergrößert sich der Tiefenschärfenbereich. Die Vergrößerung der Blendenöffnung hat wiederum eine Verringerung der Tiefenschärfe zur Folge. Demnach bestimmt die Tiefenschärfe, wie weit ein Objekt von der Schärfenebene des Objektivs entfernt sein darf, um als fokussiertes Objekt von dem Sensor wiedergegeben zu werden.

Abbildung [AB25] dient im Folgenden als Beispiel. Das fokussierte Licht wird in Kegelform auf den Sensor projiziert. Bei idealer Fokussierung werden die Lichtstrahlen auf einem Punkt (Brennpunkt) der Sensorebene fokussiert. Wenn das abzubildende Objekt jedoch vor oder hinter der Schärfenebene liegt, ist der Brennpunkt der Lichtstrahlen dementsprechend vor oder hinter der Sensorebene. Dabei entsteht ein Zerstreuungskreis auf dem Sensor, dessen Größe davon abhängig ist, wie weit das projizierte Objekt von der eigentlichen Schärfenebene entfernt ist. Die zulässige Größe des Zerstreuungskreises, um das abzubildene Objekt scharf abbilden zu können, ist abhängig von der Größe der Pixel. Bei einer herkömmlichen Kamera entspricht der zulässige Umfang des Zerstreuungskreises im allgemeinen einen Pixel.⁴⁵ Wenn der Zerstreuungskreis größer ist, gehen Details verloren und das Objekt erscheint optisch unscharf. Wie bereits beschrieben, kann in die Tiefenschärfe durch die Größe der Apertur verändert werden. Bei der digitalen Erweiterung der Tiefenschärfe wird eine sehr geringe Blendenöffnung simuliert, um den Tiefenschärfen Bereich entsprechend zu vergrößern.

⁴⁵ vgl. Ng, 2006: 60

Ren Ng beschreibt die Simulation der großen Blendenzahl (also sehr kleine Blendenöffnung) mit einer Refokussierung jedes einzelnen Macropixels. „*The main concept is to refocus each pixel, assuming a full lens aperture, on the depth of the closest object in that direction.*“⁴⁶ Dementsprechend wird bei dieser Anwendung ebenfalls auf die gesammelten Richtungsinformationen des abgetasteten Lichtfeldes zugegriffen.

In welchem Umfang die Refokussierung angewendet werden kann, beschreibt Ng in seiner Dissertation. Er bezieht sich im folgendem Beispiel auf den von ihm entwickelten Prototypen. Wie bereits in Kapitel 3.2 *Mikrolinsen Array* beschrieben, projizieren die einzelnen Mikrolinsen ein Miniaturbild, der Apertur der Hauptlinse, auf die unterliegenden Macropixel. Diese sind in eine Anzahl von Subpixeln unterteilt und deren Anzahl wird mit dem Faktor n definiert. Der Prototyp von Ng hat eine Anzahl von $n = 12$, ist dementsprechend in 12×12 Subpixel pro Makropixel unterteilt.⁴⁷ Mit einer Lichtfeldkamera ist es theoretisch möglich, das digitalisierte Bild des Lichtfeldes, um den Faktor n zu refokussieren. Wenn in dem digitalisierten Bild des Lichtfeldes ein Bereich optisch unscharf ist und die Unschärfe (der Zerstreuungskreis der Lichtstrahlen) nicht größer als 12 Pixel ist, können die Pixel durch das Synthetisieren der jeweiligen virtuellen Schärfenebene refokussiert werden.⁴⁸



[AB26]: Effektiver Tiefenschärfe-Bereiche der plenoptischen Kamera

Lichtstrahlen die mit einem Zerstreuungskreis größer als n auf die Sensorebene der plenoptischen Kamera treffen, können nur bedingt refokussiert werden. Die optische Unschärfe bleibt vorhanden, doch kann die Abbildung theoretisch ***n-fach*** schärfer dargestellt werden.⁴⁹ Es muss darauf hingewiesen werden, dass die praktische Anwen-

⁴⁶ vgl. Ng, 2006: 57

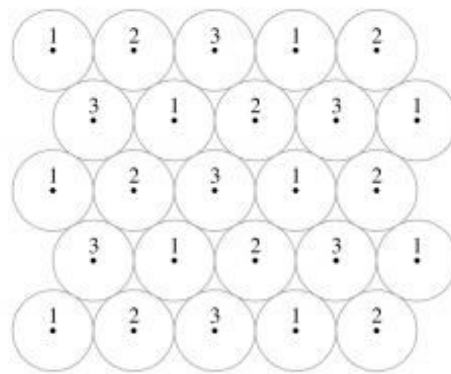
⁴⁷ vgl. ebd. : 59

⁴⁸ vgl. ebd. : 59

⁴⁹ vgl. ebd.,: 60

dung der Refokussierung eine geringere Leistung hat. Ng beschreibt in seinen Versuchen einen wesentlich kleineren Bereich der effektiven Tiefenschärfe in dem eine Refokussierung durchgeführt werden kann. Als Hauptursache nennt er dafür die Lichtbeugungseigenschaften der Mikrolinsen.⁵⁰

Die in Kapitel 3.2 *Mikrolinsen Array* eingeführte Bauweise der *multi-focus plenoptic cameras* (MFPC) ermöglicht eine Erweiterung des effektiv nutzbaren Tiefenschärfe-Bereiches. Abbildung [AB27] zeigt die reguläre Anordnung der verschiedenen Mikrolinsen auf dem MLA.



[AB27]: Schematische Anordnung der Mikrolinsen einer MFPC

Die Firma Raytrix ist seit 2012 Vorreiter in der Nutzung dieser Technik. Die Inhaber und Entwickler Christian Perwaß und Lennart Wietzke führen in ihrem Artikel *Single Lens 3D-Camera with Extended Depth-of-Field* eine neue Konstruktion einer plenoptischen Kamera ein. Die Bauweise des MLAs der MFPC zeichnet sich dadurch aus, dass die Mikrolinse verschiedenen Brennweiten haben. Somit fokussieren sie auf unterschiedliche Weise auf die Sensorebene. Durch die Umstrukturierung und Summierung der verschiedenen Fokalebene der Mikrolinsen können ebenfalls neue Bildinhalte generiert werden und den effektiv nutzbaren Bereich der Tiefenschärfe erweitern.⁵¹

⁵⁰ vgl. Ng, 2006: 66

⁵¹ vgl. Perwaß und Wietzke, 2012: 2

5 Produktionelle Veränderungen

In diesem Kapitel werden die bereits beschriebenen technischen Grundlagen und Signalverarbeitungsprozesse der plenoptischen Kamera in einen anwendungsorientierten Kontext gesetzt. Die folgende Analyse basiert darauf, dass der gegenwärtige Forschungsstand der Plenoptik dargelegt wird und ein fiktiver Einsatz einer plenoptischen Kamera in einer deutschen Fernsehfilm Produktion simuliert wird. Dabei soll ergründet werden, ob der Einsatz dieser Kameratechnik Veränderungen der bestehenden Abläufen der Kameraarbeit am Set und der Produktion hervorruft. Ausgangspunkt für die Einordnung und Bestimmung der praktischen Abläufe am Set sind die beschriebenen Aufgabengebiete des 1. Kameraassistenten durch den BVK⁵² – Berufsverband Kinetografie e.V. - und die empirischen Erfahrungen des Autors als Kameraassistent in der Film- und Werbebranche.

Es wird analysiert, welche Auswirkungen diese Kameratechnik auf das Berufsbild des Kameraassistenten hat und welche Aufgabenbereiche sich für den Kameraassistenten verändern, oder Selbige, um zusätzliche Aufgaben erweitert werden. Anschließend wird ergründet, welche Auswirkung der Einsatz einer plenoptischen Kamera auf die Arbeit an einem Filmset hat. Außerdem wird der Umfang der Anwendungsmöglichkeiten dieser Kameratechnik für die kreative Gestaltung und Umsetzung von Bildinhalten ergründet. Die folgende Analyse soll die Relevanz und Einsatzmöglichkeit der plenoptischen Kamera im Bereich der Film und Fernsehbranche herausarbeiten.

5.1 Aufgaben des Kameraassistenten

Der 1. Kameraassistent, im folgenden 1st AC genannt, ist das Bindeglied zwischen kreativer Umsetzung der Bildinhalte und technischer Betreuung der Kameratechnik. Er erfüllt eine eigenständige Qualifikation und arbeitet sehr eng mit dem DoP zusammen. Zu seinen Hauptaufgaben gehören das Zusammenstellen und Prüfen des gesamten Kameraequipments, der Aufbau und Abbau der Kamera am Set, das „Focus Pulling“ - das Nachführen der Schärfe – und das Einstellen aller nötigen Kameraparameter. Sowie die Kontrolle der Filmaufnahmen, die Durchführung von kleineren Reparaturen und die Zuweisung und Zuteilung von Arbeitsaufträgen an die weiteren, dem 1st AC unterstehenden, Kameraassistenten (Materialassistent, Datenassistent und ggf. dem DIT).

52 Siehe Anlage 1

Wie bereits beschrieben, beinhaltet die folgende Analyse einen simulierten Einsatz einer plenoptischen Kamera für die Dreharbeiten einer durchschnittlichen deutschen Fernsehfilm-Produktion. Der gesamte Ablauf der Kameraarbeit wird von der Zusammenstellung über die Vorbereitung und den anschließenden Einsatz der Kamera für die Dreharbeiten untersucht. Die in dieser Arbeit beschriebenen theoretischen Grundlagen einer plenoptischen Kamera werden implementiert und in dem simulierten Einsatz der Kamera berücksichtigt. Diese Simulation umfasst die herkömmlichen Arbeitsschritte eines 1st ACs und fügt notwendige Arbeitsschritte und Applikationen für den Einsatz einer plenoptischen Kamera hinzu.



[AB28]: ARRI ALEXA mit plenoptischen Tubus

Die folgende Analyse wird mit dem plenoptischen ALEXA Prototypen von von ARRI durchgeführt. Die Peripherie der Kamera, wie z.B. Anschlüsse und Mount, sind Broadcast Standards und deshalb gut mit der herkömmlichen ALEXA Kamera vergleichbar.

5.1.1 Aufgaben des 1st AC in der Vorbereitung

Zu Beginn jeder Produktion ist der 1st AC im Kontakt mit dem DoP. Sie klären gemeinsam, welche Technik und welches Zubehör benötigt wird, um das folgende Projekt umzusetzen. Neben dramaturgischen Entscheidungen, die festlegen welche Arbeitstechniken (Dollyfahrten, Kranfahrten etc.) eingesetzt werden, ist dieser Zeitpunkt auch eine ästhetische Entscheidung. Jede Kamera zeichnet sich durch individuelle Eigenschaften und einer bestimmten Ästhetik aus. Es muss entschieden werden, welche Kamera mit den widrigen Drehverhältnissen gut umgeht und den gestalterischen Vorstellung von Kamera- und Regie-Department erfüllt. Des Weiteren können bestimmte Eigenschaften des Kamerasystems einen Mehrwert für die Produktion haben (z.B. die Möglichkeit des

Refokussierens der plenoptischen Kamera oder Auflösungsvermögen von 4K). Außerdem ist die Entscheidung für ein bestimmtes Kamerasystem eine Kostenfrage für das gesamte Budget der Produktion. Nachdem die Entscheidung für ein Kamerasystem getroffen ist und das benötigte Zubehör bestimmt ist, beginnt für den 1st AC die Vorbereitung des Equipments.

Der 1st AC kommuniziert zwischen Produktion und Kameraverleih welches Equipment benötigt wird und bereitet den Kameratest vor. Diese Simulation analysiert den praktischen Einsatz einer plenoptischen Kamera. Dementsprechend wird davon ausgegangen, dass sich aufgrund der in Kapitel 6.2 *Gestaltungsmöglichkeiten einer plenoptischen* beschriebenen Einsatzmöglichkeiten, für den Einsatz einer plenoptischen Kamera entschieden wurde.

Anhand des Kameratests wird sichergestellt, dass die einwandfreie Funktion aller Geräte gewährleistet werden kann. Der 1st AC ist für diese Prüfung verantwortlich. Der Ablauf des Kameratests variiert von Assistenten zu Assistenten und untersteht keinen festen Vorgaben. Jedoch ist es ratsam damit zu beginnen, das benötigte Equipment und Zubehör auf ihre Vollständigkeit zu überprüfen. Anschließend werden die jeweiligen Geräte und Bauteile auf ihre Funktion und einwandfreien Zustand überprüft. Bei einer herkömmlichen Kamera werden Objektive und Sensor der Kamera einer optischen und mechanischen Prüfung unterzogen. Dabei wird auf physische Beeinträchtigungen der Linsen bzw. Sensoroberfläche geachtet und mögliche Fehlfunktionen ausgeschlossen. Bei dem Einsatz einer plenoptischen Kamera müssen die in Kapitel 3.2 *Microlinsen Array* und 3.3 *Konstruktion einer Lichtfeldkamera* beschriebenen Bauteile (MLA und Relais Objektiv) des plenoptischen Tubus zusätzlich überprüft werden. Die Begutachtung dieser zusätzlichen Komponenten benötigt keine zusätzliche Qualifikation und kann ohne Einschränkungen von dem 1st AC durchgeführt werden. Diese Aussage kann formuliert werden, da es sich um bekannte Materialien handelt. Wesentlich zeitaufwendiger und komplexer ist die anschließende optische und elektronische Kalibrierung der plenoptischen Kamera.

Für die korrekte und exakte Aufnahme des Lichtfeldes müssen die optischen Bauteile und der elektronische Signalverarbeitungsprozess der plenoptischen Kamera kalibriert werden. Diese Notwendigkeit ist in Kapitel 3.3 *Konstruktion einer plenoptischen Kamera* und 4.1 *Lichtfeld Rendering* beschrieben. Die Lagebeziehung zwischen Relais Optik und MLA, sowie Hauptlinse und MLA müssen durch den 1st AC überprüft und ggf. justiert werden. Dieser Prozess ist sehr komplex und erfordert umfangreiches Fachwissen, das sich der 1st AC zuvor aneignen muss. Der elektronische Signalverarbeitungs-

prozess muss ebenfalls dahingehend geprüft werden, ob die physischen MICs mit den digital abgetasteten und bestimmten Werten übereinstimmen. Da dieser Prozess aus der Durchführung eines elektronischen Messverfahrens besteht ist es naheliegend, dass ein DIT, oder ggf. ein separater Lichtfeldkamera Operator/Techniker diesen Vorgang durchführt (siehe Kapitel 4.2 *Signalverarbeitung und Datenkapazität*). An dieser Stelle muss erneut darauf hingewiesen werden, dass der Prozess der optischen und elektronischen Kalibrierung nicht präziser erläutert wird, da dies den Umfang dieser Arbeit überschreiten würde. Jedoch ist für die beabsichtigte Analyse dieser Arbeit die Tatsache der Notwendigkeit dieser Kalibrierung ausreichend,

Nachdem die optischen Bauteile geprüft und kalibriert wurden und die einwandfreie Funktion der plenoptischen Kamera gewährleistet ist, muss die Aufnahmefunktion der Kamera getestet werden. Wie bei dem Test einer herkömmlichen Kamera, wird die plenoptische Kamera ausgelöst und das aufgenommene Material auf einem externen Gerät (Laptop oder Workstation) begutachtet. Der Workflow für die Datensicherung wird durch den 1st AC mit der zuständigen Postproduktion und dem DIT abgestimmt. Die aufgenommenen Daten überreicht der 1st AC der Postproduktion, welche eine genaue Begutachtung des Bildmaterials durchführen wird und testet ob die digitalisierte Aufnahme des Lichtfeldes korrekt aufgenommen wurde. Demzufolge prüfen sie, ob die Informationen des Lichtfeldes korrekt ausgelesen werden können und die Schärfeebene, sowie Perspektive der Lichtfeldaufnahme synthetisch verändert werden können. Zusammengefasst besteht die Veränderung in der Handhabung mit dem produzierten Material darin, dass die Postproduktion eine Mehrzahl von Parameter und Signalprozesse überprüfen muss. Für den Kameraassistenten gibt es daraus folgend, im Bezug auf die Kontrolle der Datensicherung und Signalübertragung, keine grundlegende Veränderung.

Nachdem die störungslose Aufnahme des Lichtfeldes sichergestellt ist, muss die plenoptische Kamera für die jeweiligen Aufnahmebedingungen konfiguriert werden. Davon abhängig ob die Kamera als Handkamera, Steadycam, oder auf einem Dolly eingesetzt wird, muss der 1st AC die Konfiguration des Zubehörs anpassen. Die Kamera hat durch ihre lange Baulänge und der weit vorgelagerten Hauptlinse einen Schwerpunkt, der über die Schulterstütze der Kamera hinausgeht. Damit die Kamera führende Person gut und störungsfrei arbeiten kann, muss der 1st AC den Kameraaufbau zuvor an die jeweiligen Drehbedingungen anpassen.

5.1.2 Aufgaben des 1st AC während den Dreharbeiten

Während der Dreharbeiten ist der 1st AC für die reibungslose Funktion der Kamera verantwortlich. Der Auf- und Abbau der Kamera wird von ihm koordiniert und ggf. mit Hilfe des Materialassistenten oder der Kamerabühne durchgeführt. Die Kamera, Objektive und sonstige optische Bauteile werden laufend von ihm kontrolliert und bei Bedarf gewechselt. Außerdem ist der 1st AC während der Dreharbeiten dafür zuständig alle Kameraparameter einzustellen. Dementsprechend werden die Einstellungen der Belichtungszeit, der Blendenöffnung und die Schärfeneinstellung von dem 1st AC kontrolliert und angepasst. Die folgende Gegenüberstellung der technischen Notwendigkeiten einer plenoptischen Kamera und den praktischen Anforderungen eines Filmsets, simulieren den Einsatz der plenoptischen Kamera in einer realen Produktion. Die möglichen Aufgabenbereiche werden für die anschließende Auswertung herausgearbeitet. Die Auswertung dieser Simulation soll eine mögliche Aussage darüber geben, wie relevant die plenoptischeameratechnik im zukünftigen Produktionsalltag ist und wie sich das Berufsbild der Kameraassistenten verändert.

Der Auf- und Abbau der plenoptischen Kamera hat keine signifikanten Änderungen für die Arbeitsweise des 1st ACs. Wie bei herkömmlichen Kamerasystemen auch, muss sich bei dem Auf- bzw. Abbau der Kamera an die gegenwärtigen Umgebung und der Konfiguration der Kamera angepasst werden. Wesentlicher Unterschied ist die konstante Kontrolle der optischen Bauteile des plenoptischen Tubus. In Kapitel 3.3 *Konstruktion einer plenoptischen Kamera* ist beschrieben, dass der Prototyp von ARRI verschiedene Verstellringe hat um das Abstandsverhältnis der jeweiligen Bauteile zu justieren. Die in der Vorbereitung eingestellten Werte dürfen nicht verändert werden. Eine Rekalibrierung des gesamten plenoptischen Bauteils ist notwendig, wenn sich z.B. ein Stellring unkontrolliert gelöst hat.

Die Entscheidung welches Objektiv genutzt wird, um eine Szene aufzunehmen, obliegt dem DoP. Sie ist abhängig von einer möglichen Intention einer Szene oder der gewünschten Ästhetik die der DoP kreieren möchte. Der Objektivwechsel ist in seinem Ablauf unverändert, wird jedoch am Mount des plenoptischen Tubus durchgeführt und nicht am Mount der Kamera [AB17]. Einhergehend mit diesem Aufbau ergibt sich für den 1st AC eine erforderliche Umstellung. In Kapitel 3.3 *Konstruktion einer plenoptischen Kamera* ist die Notwendigkeit beschrieben, dass die Hauptlinse auf die Ebene des MLAs fokussiert sein muss. Die vom 1st AC ausgeführte Schärfenführung wird ausgehend von dem MLA eingeschätzt und dem Abstand zwischen Objekt und MLA

angepasst. Diese Notwendigkeit wird von der Beschreibung in Kapitel 4.5 *Erweiterung der Tiefenschärfe* verdeutlicht. Der Bereich in dem eine Lichtfeldaufnahme fokussiert werden kann ist mit dem Faktor n beschrieben. Infolgedessen ist die Anwendbarkeit der nachträglichen Refokussierung limitiert. Der 1st AC muss demnach, wie bei einer herkömmlichen Kamera, den Fokus weiterhin auf den gewünschten Bildinhalt einstellen.

Eine weitere Veränderung die mit der Benutzung einer plenoptischen Kamera einhergeht ist, dass die Belichtung von der Blende der einzelnen Mikrolinsen vorgegeben wird. Dieser Zusammenhang wird in Kapitel 3.2 *Mikrolinsen Array* und [AB13] beschrieben. Demnach ist bei dem Einsatz von Mikrolinsen mit einer Blendenöffnung von $f/4$, eine maximale Blendenöffnung der Hauptlinse von ebenfalls $f/4$ vorgegeben. Für die Arbeit des 1st AC bedeutet das, dass der Tiefenschärfe Bereich größer ist und die Schärfenführung entsprechend einfacher wird. Diese Aussage kann getroffen werden, wenn der Tiefenschärfe-Bereich einer Blendenöffnung von $f/4$ mit dem Tiefenschärfe Bereich einer $f/1.2$ Blendenöffnung verglichen wird. Die Diskrepanz, welche das abgebildeten Objekt von der idealen Schärfenebene haben darf um scharf abgebildet zu werden, ist bei einer Blende von $f/4$ größer. Dieser Sachverhalt lässt sich durch die Beschreibungen in Kapitel 4.5 *Erweiterung der Tiefenschärfe* belegen. Eine maximale Blendenöffnung von $f/4$ kann im Drehverlauf dazu führen, dass der Kameraassistent die elektronische Filmempfindlichkeit (ISO) der plenoptischen Kamera entsprechend anpassen muss. Respektive muss die Beleuchtung entsprechend angepasst und verstärkt werden, um eine möglichst offene Blendenöffnung zu nutzen und mögliche Störsignale durch die elektronische Verstärkung des Bildsignals zu vermeiden.

Die bereits beschriebenen Veränderungen sind Faktoren, die den Drehablauf und die Vorbereitungen der jeweiligen Szene direkt beeinflussen. Der Aspekt der Datenspeicherung ist ein Faktor der, solange genügend Speichermedien vorhanden sind und die Datensicherung des gedrehten Materials störungsfrei läuft, die Dreharbeiten nur sekundär beeinflusst. Jedoch muss der 1st AC kontrollieren, dass genug Speichermedien zur Verfügung stehen und das geplante Tagespensum an Drehzeit aufgenommen werden kann. Die Aufnahme des Lichtfeldes benötigt extrem große Datenkapazitäten. Demnach muss der 1st AC bei dem Einsatz einer plenoptischen Kamera verstärkt auf die nutzbaren Speicherressourcen achten. Insbesondere ist dies der Fall, wenn es Drehsituationen gibt, in denen die Geräte und das Personal für die Datensicherung nicht am Drehort sind oder die Takes die Aufnahmezeit des Mediums fast überschreiten. Eben-

falls muss beachtet werden, dass die Erhöhung der Bildrate **fps** eine lineare Vergrößerung der entstehenden Datenmengen zur Folge hat. Das Bereitstellen und Kalkulieren der benötigten Speichermedien ist demzufolge ein weitaus problematischerer Faktor, als bei der Aufnahme mit einer herkömmlichen Kamera.

5.1.3 Aufgaben des 1st AC nach den Dreharbeiten

Nachdem die Dreharbeiten beendet sind, hat der 1st AC erneut die Aufgabe das geliehene Equipments auf seine Vollständigkeit zu überprüfen. Gemeinsam mit den weiteren Assistenten ist er dafür zuständig, die Kameratechnik an den Kameraverleih zu übergeben. Der Verleih wird von dem Kameraassistenten über eventuell entstandene Schäden oder Fehlfunktionen der Technik informiert. Anschließend wird das geliehene Equipment von dem Kameraverleih geprüft und auf Vollständigkeit überprüft. Nach der Übergabe des Equipments an den Kameraverleih, ist die aktive Arbeit für den 1st AC in dieser Produktion abgeschlossen. Gegebenenfalls ist der 1st AC während dem Verlauf der Nachbearbeitung, im Kontakt mit der Postproduktion. Dies kann der Fall sein, wenn die Postproduktion weitere Informationen (Kamerawinkel oder Entfernung von Objekten) für die Erstellung von digitalen Bildinhalten benötigt. Der 1st AC stellt der Postproduktion, diese Daten zu Verfügung und schließt die Produktion damit ab.

Bei dem Einsatz einer plenoptischen Kamera ist ein weiterer Aufgabenbereich vorstellbar. Anhand der gesammelten Richtungsinformationen des abgetasteten und digitalisierten Lichtfeldes kann der 1st AC in der Bearbeitung der Postproduktion eingesetzt werden. Im Prozess des Refokussierens kann er als Operator eingesetzt werden, um die Schärfeebene bestimmter Sequenzen synthetisch neu festzulegen. Für diesen Zweck kann eine Methode angewendet werden, die ähnlich in der digitalen Erstellung bzw. Erfassung von Kamerabewegungen angewendet wird. Bei dem *virtual camera motion tracking* wird eine virtuelle Kamera und ihre Bewegungen in einem animierten Raum simuliert. Die Bewegungen und Position eines Kamera-Dummys, welcher mit Tracking Punkten versehen ist, wird von mehreren Motion Tracking Kameras aufgezeichnet und auf die Bewegung einer virtuellen Kamera adaptiert. Abbildung [AB29] zeigt ein Kamera-Dummy im Einsatz. Die weißen Kugeln an dem Dummy sind die Tracking-Punkte, welche von den umliegenden Motion Tracking Kameras erkannt und in eine Animationssoftware übertragen werden. Die Methode der *virtual camera motion tracking* wird angewendet, um digital erstellte Kamerabewegungen zu homogenisieren und realitätsnah zu gestalten. Übertragen auf den Prozess der Refokussierung bedeutet das, dass die Verlagerung der Schärfeebene durch die Erfahrung und Ausführung

des 1st AC homogenisiert und realitätsnah synthetisiert werden kann. Vorstellbar ist die Benutzung eines Funkschärfe Controllers, welcher mit dem Computersystem verbunden wird. So kann es möglich sein die reale Schärfenführung des 1st AC auf die synthetische Schärfenverlagerung zu adaptieren.



[AB29]: Verwandtes Anwendungsbeispiel: *Virtual camera motion tracking*

6 Veränderung durch den Einsatz der plenoptischen Kamera

Die veränderten Abläufe und weitere Vorbereitungsschritte sind die Konsequenz neuer technischer Parameter, die bei der Benutzung einer plenoptischen Kamera aufkommen. In diesem Kapitel werden die entstehenden Veränderungen für eine Produktion, sowie die Veränderung des Berufsbildes des Kameraassistenten ausgewertet. Die Bedeutung dieser Veränderung wird entsprechend eingeordnet, sodass am Ende dieser Arbeit eine Aussage darüber getroffen werden kann, welche Relevanz dieser Kamertechnik in der Filmbranche zugeordnet werden kann.

6.1 Veränderungen der Aufgabenbereiche des 1st ACs

Der fiktive Einsatz einer plenoptischen Kamera, für die Herstellung einer Filmproduktion sollte die auftretenden Veränderungen in der Vorbereitung, der Ausführung und der Nachbetreuung eines solchen Projektes simulieren. Bei den herausgearbeiteten Punkten handelt es sich um notwendige Prozesse, die aus den technischen Anforderungen

der plenoptischen Kamera resultieren. Daraus lässt sich ermitteln, inwiefern das Berufsbild und die damit verbundenen Aufgabenbereiche des 1st AC von dieser Kamertechnik verändert werden.

Die vorausgegangene Simulation zeigt, dass es bei der Nutzung einer plenoptischen Kamera bezeichnende Unterschiede, im Vergleich zu der Nutzung einer herkömmlichen Kamera gibt. In Kapitel 6.1.1 *Aufgaben des 1st AC in der Vorbereitung* wurden zusätzliche Arbeitsschritte beschrieben, die bei der Vorbereitung einer plenoptischen Kamera notwendig sind. Bei diesen Arbeitsschritten handelt es sich vor allem um die optische und elektronische Kalibrierung der plenoptischen Kamera. Diese Prozesse verlangen spezielles Fachwissen für die fachgerechte Ausführung. Dieses Fachwissen geht über die allgemeine Ausbildung eines Kameraassistenten hinaus. Daraus folgt, dass der Kameraassistent eine entsprechende Spezialisierung eingehen muss um diese Technik bedienen zu können. Themengebiete, wie die elektronische Signalverarbeitung der Kamera (siehe elektronische Kalibrierung der plenoptischen Kamera), sind Prozesse, die der 1st AC als verantwortlicher Techniker der Kameraabteilung nachvollziehen und kommunizieren können muss. Grundsätzlich ist der DIT für die elektronischen Komponenten zuständig, jedoch besteht die plenoptische Kamera aus optischen und elektronischen Elementen, welche die Aufnahme des Lichtfeldes ermöglichen.

Der simulierte Einsatz der plenoptischen Kamera zeigt, dass sich die Aufgaben des 1st ACs während der Dreharbeiten nur bedingt verändert haben. Die allgemeine Handhabung der Kamera ist gleichartig zu einer herkömmlichen Kamera. Jedoch sind es einzelne Unterschiede, die weitere Kompetenzen des 1st AC erfordern. Die Veränderung der Blendenöffnung der Hauptlinse, beeinflusst bei der plenoptischen Kamera nicht nur die Intensität des auf den Sensor fallenden Lichtes. Vielmehr wird dadurch auch (siehe Kapitel 3.2 *Microlinsen Array*) das Sichtfeld der einzelnen Mikrolinsen beeinflusst. Demzufolge wird der Blendenöffnung eine weitere Funktion hinzugefügt, die berücksichtigt werden muss. Dieser Sachverhalt ist insbesondere wichtig, wenn die Blende, bedingt durch schlechte Lichtverhältnisse, angepasst werden muss. Die Einschätzung der bildtechnisch korrekten Einstellung der Blendenöffnung wird demzufolge komplizierter.

Ein weiterer Aspekt, der den Aufgabenbereich des 1st AC erweitert, ist der sehr wartungsintensive Aufbau der plenoptischen Kameratechnik. Der Aufbau des plenoptischen Tubus ermöglicht den flexiblen Austausch der optischen Bauteile, jedoch ist die Kontrolle der Abstandsverhältnisse für die korrekte Abtastung des Lichtfeldes elemen-

tar. Die Verstellringe des MLA und Relais Optik Bauteils können sich lösen und eine erneute Kalibrierung des Kamerasystems erfordern. Eine stetige Kontrolle, der bei der Kalibrierung ermittelten Werte, ist demnach zwingend erforderlich.

Eine weitere Veränderung, die bei dem Einsatz einer plenoptischen Kamera auftreten kann ist, dass sich der Tätigkeitsbereich des 1st ACs um eine komplett neu entstehende Position in der Postproduktion erweitert. Die synthetische Verlagerung der Schärfenebene kann durch die praxiserfahrene Ausführung des 1st ACs erfolgen. Es ist anzumerken, dass es sich bei der Erweiterung dieses Tätigkeitsbereich um eine naheliegende These handelt, die einer weiteren empirischen praktischen Untersuchung bedarf. Zusammenfassend können nach der Auswertung folgende Aussagen formuliert werden. Sie fassen zusammen, inwiefern sich die Aufgabenbereiche des 1st ACs bei dem Einsatz der plenoptischen Kamera verändern:

- **Die Vorbereitung bzw. Kalibrierung der plenoptischen Kameratechnik ist wesentlich zeitaufwändiger und komplexer, als die Vorbereitung einer herkömmlichen Kamera. Die plenoptische Kameratechnik verlangt spezielle Fachkenntnisse von dem Kameraassistenten.**
- **Die grundsätzliche Handhabung der plenoptischen Kamera verändert sich nur bedingt. Das Grundprinzip der herkömmlichen Betreuung durch den Kameraassistenten bleibt bestehen, wird jedoch um wichtige Parameter erweitert.**
- **Die Notwendigkeit der Schärfenverlagerung durch den 1st AC bleibt bestehen. Die Technik der Plenoptik eröffnet den Nutzern lediglich einen erweiterten Aktionsradius, in dem die Schärfe korrigiert werden kann.**
- **Die Position des Kameraassistenten ist eine Kompetenz, die mannigfaltige Fach- und Kernkompetenzen erfordert. Die plenoptische Kamera erhöht die Anforderungen, die an das Berufsbild des 1st ACs gestellt werden. Außerdem ist die Erweiterung des Tätigkeitsbereiches des Kameraassistenten in die Postproduktion vorstellbar.**

6.2 Veränderung der Produktion

Die durchgeführte Simulation eines Einsatzes der plenoptischen Kamera während einer Fernsehfilm-Produktion hat dargelegt, dass diese Kameratechnik ebenfalls eine Veränderungen der herkömmlichen Produktionsweise bedingt. Aus den technischen Parameter der plenoptischen Kamera resultieren bestimmte Anforderungen an die Produktionsweise, die entsprechend angepasst werden müssen. Jedoch entstehen durch die Nutzung dieser Kameratechnik ebenfalls Möglichkeiten, die Produktion zu optimieren.

Ein wesentlicher Unterschied, welche die Nutzung der plenoptischen Kameratechnik zur Folge hat, ist der limitierte Lichtdurchlass der bautechnisch erforderlichen Blendenöffnung⁵³. Demzufolge ist der Einsatz dieser Kamera, was die Leistungsfähigkeit bei verschiedenen Lichtsituationen angeht, weniger flexibel. Durch die geringere Blendenöffnung wird zusätzliche Lichttechnik benötigt, die den geringeren Lichtdurchlass mit einer größeren Leistung ausgleicht. Dieser Folgerung steht der Aspekt gegenüber, dass sich durch die Benutzung der plenoptischen Kameratechnik das Drehverhältnis verbessern wird. Die Möglichkeit der nachträglichen Fokussierung und die geringfügige Änderung der Perspektive ermöglichen einen flexiblen Umgang mit technischen Unstimmigkeiten, wie Unschärfe und Veränderung des Kamerawinkels. Mit diesen Möglichkeiten lassen sich die Anzahl von produzierten Takes und das Aufkommen von technisch notwendigen Nachdreharbeiten reduzieren.

Zusätzlich ist darauf hinzuweisen, dass das abgetastete Lichtfeld genutzt werden kann um 3D Inhalte zu generieren (siehe Kapitel 5 *Gestaltungsmöglichkeiten der plenoptischen Kamera*). Bei der herkömmlichen Methode der Parallaxen-3D-Aufnahme werden zwei Kameras benötigt, um die notwendigen Tiefenwerte aufzunehmen und generieren zu können. Die Betreuung dieser Konfiguration ist dementsprechend aufwändig und teuer. Eine weitere, nicht unerhebliche Veränderung in der Film Produktion mit einer plenoptischen Kamera ist die, in der Simulation beschriebene, benötigte Speicherkapazität für die digitalisierten Lichtfeldaufnahmen. Die Anschaffung und Verwaltung der notwendigen Speichermedien ist ein Kostenpunkt, der sich für die Produktion erheblich vergrößern wird. Dabei müssen die Arbeitsstunden des Datenassistenten, die das Sichern und Archivieren der generierten Daten in Anspruch nimmt, unbedingt mit einbezogen werden. Zusammenfassend können über die Veränderung einer Produktion, die eine plenoptische Kamera einsetzt, folgende Aussagen formuliert werden:

53 siehe Kapitel 3.2 *Mikrolinsen Array*

- **Der limitierte Lichtdurchlass der bautechnisch erforderlichen Blendenöffnung verursacht die eingeschränkte Einsatzmöglichkeit der Kamera. Der Anwender ist abhängiger von den bestehenden Lichtverhältnissen.**
- **Die Gesamtleistung der benötigten Lichttechnik muss bei dem Einsatz einer plenoptischen Kamera insgesamt erhöht werden. Entsprechende Mehrkosten für Material und Personal fallen an.**
- **Der Einsatz der plenoptischen Kamera kann das Dreh-Verhältnis verbessern, indem technische Verfehlungen (z.B. Unschärfe) korrigierbar sind.**
- **Die Produktion von 3D-Inhalten, kann durch die Nutzung einer einzelnen Lichtfeldkamera einfacher und störungsfreier aufgeführt werden.**
- **Die Digitalisierung der Lichtfeldaufnahmen generiert eine große Menge an Datenvolumen. Die benötigten Speichermedien und deren Verwaltung sind Faktoren, die große Kosten für die Produktion generieren werden.**

6.3 Einordnung und Bewertung der ausgeführten Überprüfung

Die in dieser Arbeit durchgeführte Überprüfung basiert auf den hergeleiteten theoretischen Grundlagen der Plenoptik. Die erläuterten Grundlagen der plenoptischen Kameratechnik werden, zusammen mit den bestehenden Anforderungen an den 1. Kameraassistenten und den aktuellen Produktionsverhältnissen der Filmbranche, in einen praktischen Kontext gesetzt.

Die Simulation greift auf Parameter zu, die durch den Produktionsalltag in der Filmbranche definiert sind. Die Aufgabengebiete des Kameraassistenten und deren Veränderungen durch den Einsatz der plenoptischen Kamera, werden durch die Hinzunahme der Definition des BVKs und der empirischen Erfahrung des Autors ermittelt. An diesem Punkt ist darauf hinzuweisen, dass die Aussagekraft der Analyse entsprechend eingeschränkt wird. Die Analyse dieser Arbeit liefert nachweisbare theoretische Ergebnisse, für die Ermittlung der praktischen Auswirkungen der plenoptischen Kameratechnik. Um die ermittelten Ergebnisse endgültig bestätigen zu können, müsste ein praktischer Feldversuch durchgeführt werden.

7 Fazit

7.1 Relevanz der plenoptischen Kameratechnik

Zusammenfassend kann formuliert werden, dass der Einsatz der plenoptischen Kamera die Veränderung der Produktionsweise von Film- und Fernsehproduktionen erfordert. Die Nutzung dieser Technik hat entsprechende Vor- und Nachteile, die aus den technischen Anforderungen der Kamera resultieren. Zunächst muss gesagt werden, dass die Limitation der Anwendbarkeit dieser Kameratechnik von der Leistungsfähigkeit der technischen Elemente definiert wird. Der aktuelle Leistungsstand der Signalverarbeitungs- und Datenübertragungsprozesse limitiert die Performance dieser Kamera erheblich. Außerdem reduziert die derzeitige Herstellung der Mikrolinsen Arrays die Aufnahmequalität ebenfalls sehr stark. Dementsprechend kann gesagt werden, dass jeder beschriebene Prozess und jedes Bauteil von einer zukünftigen Verbesserung profitiert und der Einsatz der plenoptischen Kamera durch diese Verbesserungen ein relevantes Kosten/Nutzen-Verhältnis erreichen kann.

Die Einsatzmöglichkeiten der plenoptischen Kameratechnik sind sehr vielseitig und ermöglichen den Anwender die Verwendung von Informationen, die bei dem Einsatz mit einer herkömmlichen verloren gehen würden. Die Möglichkeit der Refokussierung erlaubt eine schnellere und flexiblere Produktionsweise, da technische Verfehlungen (z.B. Unschärfe) in der Postproduktion korrigierbar sind. Der Nachteil für die Nutzung dieser Möglichkeiten ist, dass für die Aufnahmen mit der plenoptischen Kamera viel Licht und ggf. mehr Lichttechnik benötigt wird. Außerdem wird für die Speicherung der Lichtfeldaufnahmen ein vielfaches der herkömmlichen Datenkapazitäten benötigt. Diese beiden Gründe sind Faktoren die Kosten generieren, die den Nutzen der plenoptischen Kameratechnik bisher überschreiten. Jedoch kann diese Aussage nicht pauschalisiert werden. Die Anwendung der plenoptischen Kamera kann wiederum bei der Aufnahme von einmaligen Ereignissen, eine unbezahlbare Bereicherung für die gesamte Produktion sein.

Demzufolge kann formuliert werden, dass die Anwendbarkeit der plenoptischen Kameratechnik aktuell zu stark durch die technische Leistungsfähigkeit der einzelnen Komponenten limitiert wird. Außerdem wird die Produktion mit einer plenoptischen Kamera, im Bezug auf die Vorbereitung und Betreuung der Kamera, zeitintensiver.

Für den Kameraassistenten verändert sich die Arbeitsweise insofern, dass sich der Anteil an geforderten Kompetenzen und der Aufgabenbereich um einen wesentlichen Teil erweitern. Die Vorbereitung und Kalibrierung der plenoptischen Kamera ist wesentlich komplexer als die Vorbereitung einer herkömmlichen Filmkamera. Dementsprechend wird von dem Kameraassistenten eine gewisse Spezialisierung verlangt, um dieseameratechnik betreuen zu können.

Die Betreuung der plenoptischen Kamera bleibt für den 1st AC im wesentlichen gleich. Auch die Schärfenführung, also das Focus Pulling, ist weiterhin Bestandteil der Arbeit als 1. Kameraassistent. Die Lichtfeldameratechnik ermöglicht zwar die nachträgliche Refokussierung der Lichtfeldaufnahmen, jedoch ist der effektive Bereich in dem eine Refokussierung angewendet werden kann begrenzt. Des Weiteren hat der simulierte Einsatz der plenoptischen Kamera dargelegt, dass von dem 1st AC weitere Kompetenzen gefordert werden, welche das Einschätzen der technisch korrekten Aufnahme des Lichtfeldes betreffen. Hinzukommend hat diese Arbeit erörtert, dass sich der Tätigkeitsbereich des Kameraassistenten auf den Bereich der Postproduktion erweitern kann. Der Kameraassistent kann dort als Focus Operator eingesetzt werden, um die synthetische Refokussierung in der Postproduktion auszuführen. Zusammengefasst sind die wesentlichen Änderung für den Kameraassistenten folgendermaßen zu formulieren: die Arbeit mit einer plenoptischen Kamera bedeutet für den Kameraassistenten einen entsprechenden Mehraufwand, im Bezug auf die Vorbereitung und der Wartung am Set. Außerdem erweitert sich der mögliche Tätigkeitsbereich des Kameraassistenten, in Richtung der Postproduktion. Insgesamt ist außerdem festzustellen, dass die Position des Kameraassistenten weiterhin sehr wichtig bleibt. Er wird auch in Zukunft der verantwortliche Techniker für die eingesetzte Technik sein. Die plenoptische Kamera bleibt ein Werkzeug, dass bedient und betreut werden muss.

Um nähere Aussagen über die Auswirkungen der plenoptischen Kamera auf die Arbeitsabläufe am Set machen zu können, müsste man noch weitere Nachforschungen durchführen. Die theoretisch gesammelten Ergebnisse müssen in einem praktischen Feldversuch ergründet werden, um die in dieser Arbeit formulierten Aussagen zu verifizieren. Es zeigte sich in der Bachelorarbeit, dass diese praktische Überprüfung nicht optimal angegangen wurde. Der Umfang der Recherche und der Erarbeitung des nötigen Fachwissen hat zu viel Zeit in Anspruch genommen. Dennoch hat diese Arbeit eine allgemeine Einführung in die Thematik der Lichtfeldkamera geben können und die möglichen Auswirkungen, Vorteile oder Nachteile dieserameratechnik konturiert.

7.2 Ausblick

Die Technik der Lichtfeldaufnahme ist eine sehr eindrucksvolle und auch leistungsstarke Kameratechnik. Inwiefern sich diese Kameratechnik in Zukunft in der Herstellung von Film- und Fernsehproduktionen etablieren kann, hängt von dem technischen Fortschritt der digitalen Videotechnik ab. Wie bereits beschrieben, ist die Technik der Plenoptik durch die Qualität und Leistungsfähigkeit der einzelnen Bauteile und Verarbeitungsprozesse definiert. Solange die Qualität und das Auflösungsvermögen der plenoptischen Kamera auf dem aktuellen Stand verbleibt, ist der Einsatz dieser Kamera uninteressant für professionelle Produktionen. Auch die Konstruktion des plenoptischen Tubus, muss für eine produktive Nutzung der plenoptischen Kamera angepasst werden.

Das Aufkommen von digitalen Film- und Kameratechniken, die eine möglichst flexible und variable Bearbeitung des aufgenommenen Bildmaterials ermöglichen, ist in den letzten Jahren extrem gestiegen. Als Beispiel dafür ist die RAW Fotografie im Filmbereich zu nennen. Dieses Entwicklung ist ein weiterer Grund, dass der zukünftige Einsatz der Lichtfeldkamera in professionellen Film- und Fernsehproduktionen vorstellbar ist.

Literaturverzeichnis

- **Edward H. Andelson und James R. Bergen:**
The Plenoptic Function and the Elements of Early Vision. MIT Press, Cambridge, 1991.
- **Martin Kemp:**
Leonardo on Painting. Yale University Press, 2001.
- **Christopher Hahne:**
Konfiguration einer digitalen Lichtfeldkamera. Bachelor-Thesis, HAW Hamburg, 2012.
- **Marc Levoy und Pat Hanrahan:**
Light Field Rendering. Stanford University, 1996.
- **Ren Ng:**
Digital Light Field Photography. Stanford University, 2006.
- **Dan Dali:**
Microlens Arrays. CRC Press, 2000.
- **Christian Perwaß und Lennart Wietzke:**
Single Lens 3D-Camera with Extended Depth-of-Field. Kiel, 2012.
- **Edward H. Andelson und John Y.A. Wang:**
Single Lens Stereo with a Plenoptic Camera. IEEE Computer Society, 1992.
- **Ren Ng, Marc Levoy, Mathieu Brédif, Gene Duval, Mark Horowitz und Pat Hanrahan:**
Light Field Photography with a Hand-held Plenoptic Camera.
Stanford Tech Report, 2005.
- **Marc Levoy:**
Light Fields and Computational Imaging. IEEE Computer Society, 2006.
- **www.zim-bmwi.de, ZIM-KOOP 29, 2010**
URL: <http://www.zim-bmwi.de/erfolgsbeispiele/old/zim-koop-foerderbeispiele/zim-koop-029.pdf> , Abruf: 25.06.2015.
- **www.weltderphysik.de, Löffken 2006**
URL: <http://www.weltderphysik.de/gebiet/leben/news/2006/fluessige-linse-zoom-und-autofocus-fuer-handykameras/> , Abruf: 25.06.2015.


Anlagen

Anlage 1:	Eine Definition des Berufsbilder des 1. Kameraassistenten durch den BVK	Seite XII – XIII
-----------	--	---------------------

Anlage 1: Eine Definition des Berufsbildes des 1. Kameraassistenten durch den BVK

22.6.2015

Berufsverband Kinematografie - German Society Of Cinematographers



BVK GERMAN SOCIETY OF
CINEMATOGRAPHERS

[ENGLISH](#) [LOGIN](#)

[BERUFSVERBAND](#)
[AKTUELLES](#)
[CAMERAGUIDE](#)
[FORUM](#)
[DOWNLOADS](#)
[KONTAKT](#)

BERUFSBILD ERSTER KAMERAASSISTENT / FOCUS PULLER

VORBEMERKUNG:

Die Erste Kameraassistent ist eine eigenständige Qualifikation. Die wichtigste Aufgabe des Ersten Kameraassistenten/Focus Pullers ist, wie die englische Berufsbezeichnung verdeutlicht, das akkurate Einstellen, Nachführen und Verlagern der Schärfe sowie weiterer technischer Parameter während der Aufnahme. Er ist der verantwortliche Techniker im Kamerateam und einer der wichtigsten Mitarbeiter des DoP.

Der Erste Assistent leitet den Zweiten Assistenten an und vermittelt ihm die Kompetenz und Qualifikation zur Ersten Assistent. Er ist in bestimmten Fällen auch der Vorgesetzte aller weiteren Assistenten in der Kameraabteilung.

Die erste Kameraassistent stellt eine sinnvolle Vorbereitung für den Operator dar sowie eine professionelle Vorstufe für den späteren Kinematografen/DoP.

AUFGABEN DES ERSTEN KAMERAASSISTENTEN/FOCUS PULLERS:

Sein Aufgabenbereich ist die handwerkliche, technische und, in begrenztem Umfang, organisatorische Mitarbeit bei der Herstellung von Film, Fernseh- und Videoproduktionen. Dies erfordert fortgeschrittene theoretische und praktische Kenntnisse in den Bereichen:

- Fotografie
- Optik und Filterkunde
- Filmmaterialkunde
- Videotechnik und Signalübertragung
- elektronische Aufzeichnungs- und Speicherformate /-systeme
- ameratechnik: Handhabung; Funktionsweise; Einsatzmöglichkeit und Kompatibilität aller gebräuchlichen Kamerasysteme, ihrer Zusatzteile und -geräte (Film oder elektronisch)
- Filmlicht: Charakteristik und Einsatzmöglichkeit
- Kopierwerktechnik und Filmbearbeitung, PC und Peripherie
- Grundkenntnisse von Postproduktions- und Farbkorrekturtechniken
- Ablauf einer Film- bzw. Fernsehproduktion
- Grundsätzliches Verständnis der Techniken und Möglichkeiten der klassischen sowie der digitalen Kinematografie und deren Unterschiede
- Time Code (Einstellung an der Kamera, Abgleich des Timecodes von mehreren Kameras, Playback)

TÄTIGKEITSBEREICH DES ERSTEN KAMERAASSISTENTEN/FOCUS PULLERS:

Aufgegliedert nach Produktionsphasen Vorbereitung, Drehzeit und Nachbereitung umfasst er:

Vorbereitung:

- Lesen des Drehbuchs, speziell im Hinblick auf besondere Aufnahmetechniken und die dazu erforderlichen Spezial- und Zusatzgeräte
- In Absprache mit dem DoP: Erstellung der Kamerageräteleiste, Anforderung von Zusatzgeräten für zeitlich begrenzten Einsatz, Kommunikation mit Produktion und Kameraverleih
- Anforderung des Aufnahmемaterials bzw. der Medien zur Datenspeicherung (ggf. in Absprache mit DIT oder Postproduktion),
- Etablieren der Kommunikation mit der Postproduktion nach Vorgaben des DoP in gestalterischen Belangen sowie ggf. bezüglich der Daten- und Qualitätssicherung
- Zusammenstellung der Geräte bei einem Verleih: Funktions- und Sichtkontrolle sämtlicher Geräte; Objektiv- und Kameratests; Testkontrolle und gegebenenfalls Testwiederholung und Geräte austausch
- Ggf. Unterstützung des DIT's bei Workflow-Probeläufen in Zusammenarbeit mit der Postproduktion
- In bestimmten Fällen Ermittlung der Empfindlichkeit der elektronischen Kamera mit Protokollierung für den DoP; Erstellung des Kamera-Setups nach den Angaben des DoP
- Kontrolle der ordnungsgemäßen und vollständigen Auslieferung der Geräte

Drehzeit:

- Auf-, Um- und Abbau der Kamera (in Zusammenarbeit mit dem Zweiten Assistenten, der Kamerabühne etc.)
- Objektiv-, Filter- und Kassettenechsel bzw. Wechsel der Aufnahmemedien
- Kontrolle der Kamera, der Objektive und Filter auf Funktion und Sauberkeit; ggf. regelmäßige Kontrolle des Auflagemaßes
- Einstellung aller Kamera- und Objektivparameter z.B. Einstellen der Sektorenblende; Umschalten der Kamera auf

VERBAND

- [Geschichte des BVK](#)
- [Aufnahmebedingungen](#)
- [Satzung](#)

BERUFSBILDER

- [DOP](#)
- [Operator](#)
- [1. Kameraassistent](#)
- [2. Kameraassistent](#)
- [DIT](#)
- [Datenassistent](#)
- [Colorist](#)

RECHT / TARIFVERTRAG

- [Tarifvertrag 2014-2015](#)
- [Gegentabelle](#)
- [Arbeitszeitgesetz](#)
- [Urheberrecht](#)

JOUR FIXE

- [Hamburg](#)
- [Berlin](#)
- [Köln](#)
- [Wiesbaden](#)
- [München](#)

http://www.bvkamera.org/berufsverband/bb_fp.php

1/2

Anlage 1: Eine Definition des Berufsbildes des 1. Kameraassistenten durch den BVK

22.6.2015

Berufsverband Kinematografie - German Society Of Cinematographers

- Rückwärtslauf, Zeitlupe, Zeitraffer, Ramps; Sicherstellung einer flickerfreien Aufnahme; Einstellung von Helligkeit/Belichtungszeit, Bildfrequenz und u.U. Format; Kontrolle und ggf. Anpassung aller weiteren Kameraparameter (System, Aufnahme, Monitoring, Meta Data, User-Button-Belegung usw.)
- Anschluss und Kontrolle anderer Zusatzgeräte der Kamera (z.B. Kompendium, Funkschärfe, Videoausspiegelung, Monitore etc.)
 - Beseitigung störender Lichteinfälle ins Objektiv
 - Verantwortung für Schärfeneinstellung und Schärfenführung, d.h. präzises Einstellen, Nachführen und Verlagern der Schärfe während der Aufnahme nach den gegebenen technischen Bedingungen und nach dramaturgischen Vorgaben
 - Fussel- und Schrammenkontrolle bei der Filmaufnahme; Kontrolle der digitalen Aufnahme durch Abfragen der Drop-Out-Satusanzeige, durch Wiedergabe oder per Rücksprache mit dem DIT
 - Grundeinstellung und Überprüfung des Kontrollmonitors sowie von Vectorscope und Waveformmonitor
 - Durchführung kleinerer Reparaturen an Kamera und Zusatzgeräten
 - Kommunikation mit Kopierwerk/Postproduktion und mit dem Schneiderraum, insbesondere bezüglich gestalterischer Fragen im Auftrag des Kinematografen, ebenso in Belangen der Daten- und Qualitätssicherung in Rücksprache mit dem DIT
 - Kommunikation mit Produktion und Geräteverleih über zeitlich begrenzten Einsatz von Zusatzequipment und -personal
 - Anwesenheit bei der Mustervorführung bzw. Begutachten der Muster je nach Art der Muster (DVD, Online-Muster etc.)
 - Probeentwicklung/Testaufzeichnung und Sichtung falls Versicherungsaufgabe

Nachbearbeitung in Zusammenarbeit mit dem zweiten Kameraassistenten und ggf. dem DIT und dem Datenassistenten

- Vollständigkeitskontrolle, Säuberung und Rücklieferung der Kameraausrüstung

BVK im Juli 2012

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ort, den TT. Monat JJJJ

Vorname Nachname